Teil 1

Die neuere Trinkwasserversorgung der Stadt Bern von 1867 bis 1965

mit einem geschichtlichen Rückblick auf die Zeit vor der Einführung der Hochdruckwasserversorgung im Jahre 1869

Teil 2

Mathematisch-statistisches Modell für die Beurteilung von Grundwasserspiegel-schwankungen

durchgearbeitet im Hinblick auf das künftige Fassungsgelände der Trinkwasserversorgung der Stadt Bern in Uttigen-Uetendorf

von Hans-Ulrich Stauffer

1970

Selbstverlag des Verfassers 1970 CH - 4900 Langenthal

Teil 1 **Die neuere Trinkwasserversorgung der Stadt Bern von 1867 bis 1965**

mit einem geschichtlichen Rückblick auf die Zeit vor der Einführung der Hochdruckwasserversorgung im Jahre 1869

Teil 2 **Mathematisch-statistisches Modell für die Beurteilung von Grundwasserspiegelschwankungen**

durchgearbeitet im Hinblick auf das künftige Fassungsgelände der Trinkwasserversorgung der Stadt Bern in Uttigen-Uetendorf

Inauguraldissertation

der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bern

zur Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt von

Hans-Ulrich Stauffer

von Homberg BE

Von der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät auf
Antrag von Herrn Prof. Dr. F.Gygax angenommen.

Bern, den 9. Juli 197o

Der Dekan: sig. Prof. Dr. Joh. Geiss

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

I N H A L T S U E B E R S I C H T

Der e r s t e T e i l der Arbeit schildert das Werden der Trinkwasserversorgung der Stadt Bern in exemplarischer Weise: von der Gewinnung des Trinkwassers im Stadtbezirk {Zieh- und Sodbrunnen}, laufende Grundwasserbrunnen von 1191 bis 1393, von der Wassermaschine Pfarrer Strassers zur Herleitung der Brunnmattquellen, von der Nutzung der Quellen von Köniz, Gurten, Enge, Altenberg und Muristalden bis 1867. Es werden in der Folge die Probleme der Stadtentwicklung und des steten Ausbaus der südlichen Quellfassungen bis zur Wende des neunzehnten Jahrhunderts berührt. Das Ungenügen des südlichen Wassers in quantitativer und qualitativer Hinsicht verlangte nach besserem Trinkwasser, dass dann vom Emmental erschlossen werden konnte. Wir erhalten hierbei Einblick in die Arbeit des Chemikers, des Geologen, des Hydrologen, des Ingenieurs, der technischen Anordnung und nicht zuletzt in die Politik zwischen Stadt und Land. - Die Herkunft der Verunreinigungen des Wassers und die verschiedenen Projekte der mechanischen, chemischen und elektrischen Reinigungsanlagen mit ihren Vor- und Nachteilen werden begründet. Es werden die vielschichtigen Vorarbeiten, im besonderen die mühsame Berechnung für die Mächtigkeit des emmentaler Grundwasserstromes, erörtert.

Das Suchen nach neuen grossen Wasservorkommen von 1916 bis 1931 eröffnet den Bernern eine neue Fülle von Möglichkeiten des Wasserbezuges: im Westen bis Freiburg und im Süden bis zum Stockensee. Von dreizehn Varianten geben Geologe und Ingenieur dem Projekt im Aaretal bei Kiesen den Vorzug. Beide begründen ausführlich Vor- und Nachteile der einzelnen Gebiete. Die technische Weiterentwicklung der Grundwasserfassungen {die geschichtliche Entwicklung der Trinkwasserversorgung der Stadt Bern ist überhaupt für diejenige Europas charakteristisch} wird am Beispiel des Aaretalwerkes I von 1946 bis 1965 umrissen, insbesondere die selbstregulierenden Fallheber und den epochemachenden Fehlmann-Horizontalfilterbrunnen, der dort erstmals in Europa eingebaut wurde.

Die starke Entwicklung der Agglomerationen im schweizerischen Mittelland und die stets wachsenden Bedürfnisse unserer Wohlstandsgesellschaft verlangen, je länger je mehr, genügend Trink- und Brauchwasser; letzteres für Klimaanlagen (Kühlzwecke), für Industrie und Gewerbe, für Reinigung, für Löschzwecke, für die Landwirtschaft (Bewässerung) u.a.m. So wissen wir, dass die Agglomeration Bern für die Neunzigerjahre aus erwähnten Gründen unbedingt neue Wasserspender benötigt und dass die Verantwortlichen dieses Wasser aus dem Aaretal bei Thun herleiten wollen. - Es fällt auf, dass bei allen geologischen und hydrologischen Gutachten bis 1965 in diesem Gebiet gewisse ernsthafte und grundsätzliche Probleme ungeklärt blieben: Wie gross ist die Mächtigkeit des Grundwasserstromes in der Ebene Kiesen - Uttigen - Uetendorf? Welche Variablen speisen das Grundwasser, und wie gross ist ihr relativer Anteil am Gesamtstrom? Hierbei ist allerdings zu beachten, dass noch keine Sondierbohrung auf die liegende Molasse stiess zur genauen Abklärung des wirklichen Talquerschnittes.

Im z w e i t e n T e i l wird ein mathematisch-statistische Modell zur Beurteilung von Spiegelschwankungen in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren auf Grund der mehrfachen linearen Regressions- und Korrelationsrechnung einschliesslich mehrfacher Varianzanalysen erklärt, hergeleitet und am vorliegenden Beispiel angewandt. Folgende Fragen wurden durch Auswerten von Pegelmessungen teilweise beantwortet: 1. Welche unabhängigen Variablen kommen als Grundwasserhauptzubringer in Frage? 2. In welcher Weise müssen diese unabhängigen Variablen in die Korrelation einbezogen werden? 3. Welche Abhängigkeit besteht zwischen dem Grundwasser und a) dem Vorfluter Aare, b) dem Thunersee und c) dem Gebietsniederschlag? 4. In welchem Masse kann man aus den partiellen Schwankungen der verschiedenen Variablen auf das Niveau des Grundwassers schliessen? 5. Lässt die statistische Auswertung von Spiegelschwankungen Vermutungen zu auf die Geschwindigkeit des Grundwasserstromes oder auf dessen Richtung?

In den einleitenden Kapiteln zum zweiten Teil werden die topographischen, morphologischen, tektonischen, geologischen und hydrologischen Kenntnisse zusammengefasst; alsdann wird ein Rangifizierungsverfahren zur Auswahl der unabhängigen Variablen aufgezeigt. Im vierten Kapitel werden die Grundlagen für die Regressions- und Korrelationsrechnung, sowie für die multiple Varianzanalyse auf anschauliche Weise hergeleitet und deren Begriffe erklärt. Die hier angewandte lineare Schreibweise (Vektoren und Matrizen) besticht durch ihre kompakte und übersichtliche Form. - Im fünften Kapitel werden die Rechenarbeiten und deren mathematische Resultate zusammengefasst. Da hierbei neben den Durchschnitten auch die Matrix der Quadrat- und Produktsummen angegeben sind, wird der Leser (der sich weiterbilden möchte) in die Lage versetzt, selber die Resultate nachrechnen und überprüfen zu können. - Im sechsten Kapitel werden die Schlüsse gezogen. Die These, wonach eine hydrostatische Druckfortpflanzung im Wasserträger existiere, findet sehr wahrscheinlich ihre Lösung in einem Druckausgleich durch stark ausgewaschene Kanäle in tieferen Schichten nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren und wird deswegen als eine scheinbare Wasseranreicherung betrachtet; die echte Anreicherung - das zweite Druckwellenmaximum - ist durchschnittlich erst zwei Tage später feststellbar. Die Bestimmtheitsmasse und die partiellen Korrelationskoeffizienten weisen eindeutig auf eine Dominanz der A a r e als Grundwasserlieferant hin, was allerdings erst statistisch gesichert aus den Varianzanalysen hervorgeht. Erstaunlich ist, dass der See nicht zu einer direkten Anreicherung des Grundwassers beiträgt, wohl aber indirekt, indem er die Funktion eines Grundwasserregulators (Aarestand und hydrostatischer Effekt) ausübt. So allein gelang es, den Unterschied zwischen dem mittelmässigen Bestimmtheitsmass und den unbedeutenden partiellen Korrelationskoeffizienten zu explizieren. Dieser Gedankengang wird nochmals erhärtet durch die sequentielle Bevorzugung des Niederschlages in der mehrfachen Regression, obwohl die Niederschlagsbestimmtheit dreimal geringer ist als die des Sees. - Die statistische Bestimmung der mittleren Grundwassergeschwindigkeit stimmt mit den experimentellen Messungen durch Isotope überein, sofern man in dieser Arbeit die wahre Weglänge des Grundwasserflusses nimmt und nicht z.B. den Abstand Aare-Messstelle. Interessant in diesem Zusammenhang ist ferner, dass durch „Auto"-Korrelation der Grundwassermessstellen untereinander nicht nur die Geschwindigkeit, sondern sogar die vorherrschende Richtung des Grundwasserstromes ermittelt werden kann unter der Voraussetzung, dass eine genügende Anzahl Beobachtungsrohre vorhanden ist.

Das vorliegende Modell soll uns zeigen, dass sich auch so - ohne Beeinflussung des Grundwassers durch Färbungen, Salzen, biologische oder Isotopen-Impfungen - quantitative und qualitative Resultate erzielen lassen.

INHALTSVERZEICHNIS

Erster Teil

			Seite
	Einleitung zum ersten Teil		3
I	Trinkwasser aus dem Stadtbezirk	1191 - 1393	5
II	Wasser aus der näheren Umgebung der Stadt	1393 - 1869	5
III	Die südlichen Quellgebiete	1867 - 1906	10
IV	Emmental	1906 - 1927	15
V	Reservoir Mannenberg II Oestliche Stadtleitungen II und III	1911 - 1914	20
VI	Ausbau der südlichen Quellgebiete bezüglich der Qualität	1911 - 1955	22
VII	Ausbau der Emmental - Wasserversorgung	1919 - 1929	30
VIII	Bern sucht neue kräftige Wasserspender	1916 - 1931	40
IX	Aaretalwerk I	1946 - 1965	46
X	Schluss des ersten Teils		52

Zweiter Teil

1.		Einleitung zum zweiten Teil	56
	1.1	Beweggründe zur vorliegenden Arbeit	56
	1.2	Problemstellung	56
	1.3	Uebersichtskarte	57
2.		Das Untersuchungsgebiet	
	2.1	Topographische Uebersicht	58
	2.2	Geovisuelle Uebersicht	58
	2.3	Tektonische Uebersicht	58
	2.4	Geologie {Talbildende Vorgänge}	58
	2.5	Geologie {im Speziellen}	59
	2.6	Hydrogeologie	59
	2.7	Hydrologie	60
3.		Messdaten; Messstellen; Auswahl der Messreihen	
	3.0	Betrachtungen, Probleme, Voraussetzungen	62
	3.1	Messstellen der abhängigen Variablen	63
	3.2	Lage der abhängigen Variablen	64
	3.3	Die Faktoren zur Beurteilung des Grundwasservorkommens	65

	3.4	Messstellen der unabhängigen Variablen	66
	3.5	Auswahl der Messreihen	67
4.		R e g r e s s i o n u n d K o r r e l a t i o n	
	4.1	Problemstellung und Erklärung der einfachen linearen Regression	69
	4.2	Bestimmung der unbekannten Koeffizienten $\{(b; b_o)\}$ oder $\vec{b}$	70
	4.3	Regression und Varianzanalyse	72
	4.4	Problemstellung und Betrachtungen zur mehrfachen linearen Regression	76
	4.5	Mehrfache Regressionsgleichung und Varianzanalyse	78
5.		V o r s t u d i e n u n d p r a k t i s c h e R e c h e n a r b e i t e n	
	5.1	Vorstudie 1925 - 1926	80
	5.2	Nivellierung	85
	5.3	Absolute Höhe über Meer	87
	5.4	Vorbereitung der Hauptarbeit	87
	5.5	Hauptarbeit	88
	5.6	Matrix der Quadrat- und Produktsummen der Abweichungen vom Mittelwert der Abhängigen	1o7
6.		E r g e b n i s s e	
	6.o	Geleitwort	1o8
	6.1	Menge der unabhängigen Variablen	1o8
	6.2	Die Form der Berücksichtigung der Unabhängigen	1o9
	6.3	Abhängigkeit zwischen dem Grundwasser und den einzelnen unabhängigen Variablen	113
	6.4	Grundwasser in Abhängigkeit von allen drei Variablen	115
	6.5	Die verschiedenen Variablen in Abhängigkeit der Zeit	116
	6.6	Linien gleichen Grundwasserstandes	119
	6.7	Fragmente - Studien	122
7.		Z u s a m m e n f a s s u n g des zweiten Teils	127
		L i t e r a t u r zum ersten Teil	128
		L i t e r a t u r zum zweiten Teil	133
		L e b e n s l a u f	134

Abkürzungen: Die Zahlen am Seitenrande links weisen jeweils auf die zugehörige Literatur hin; die erste Zahl bedeutet die Buchnummer {s. Lit,verz. S. 128ff} und die zweite Zahl gibt die entsprechende Buchseite an. Beispiel: „51.126" ist Seite 126 in Buch 51, also in ≪ Ueber 3 neuentdeckte Sodbrunnen ..≫.

L/M	Liter pro Minute	Ø	Durchmesser
L/Ed	Liter pro Einwohner pro Tag	OK	Oberkant
m^3/d	Kubikmeter pro Tag	WVSB	Wasserversorgung der Stadt Bern
SVGW	Schweizerischer Verein von Gas- und Wasserfachmänner		

„Vom Wasser haben wir's gelernt,
Vom Wasser!
Das hat nicht Rast bei Tag und Nacht
Ist stets auf Wanderschaft bedacht,
Das Wasser." W. Müller

EINLEITUNG ZUM ERSTEN TEIL

Während die Schüler der Mittelschule schon in den Anfängen des Geschichtsunterrichtes mit den Leistungen anderer Völker der Trinkwassergewinnung im Altertum und im Mittelalter vertraut gemacht werden, fehlt leider oft die Beziehung zur Gegenwart. Es mag sein, dass der heutige Bürger so intensiv und einseitig auf das Kommende der technischen und wissenschaftlichen Errungenschaften hingewiesen wird - mit denen er Schritt halten möchte -, dass er den Blick auf die jüngst vergangene Entwicklung meidet. Im Gegensatz hierzu lassen viele Aussagen von Mittelschülern den Schluss zu, dass gerade die neueste Geschichte - sei es diejenige der Politik, der Wissenschaften oder der Technik - zum Verständnis der Gegenwart einem echten Bedürfnis der heranwachsenden Jugend entspräche.

Den Gedanken an eine solche brückenschlagende Arbeit über die Trinkwasserversorgung der Stadt Bern, die im zweiten Teil durch speziellere Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse im künftigen Aaretalfassungsgebiet erweitert wurde, übertrug mir Herr Professor Gygax, Ordinarius an der Universität Bern. Ich danke ihm für die Anregung zu dieser Arbeit; denn von den Erfolgen und Misserfolgen unserer Vorfahren zu lernen, gebietet uns schon die eigene Sorge um das einwandfreie Trinkwasser, das erst ein gesundes Zusammenleben in einer wachsenden Stadt ermöglicht.

≪ Die neuere Trinkwasserversorgung der Stadt Bern ≫ möge ein Stück hydrologischer Heimatgeschichte darstellen und den interessierten Leser einführen in die verschiedenartigsten Problemlagen - technischer, wirtschaftlicher und politischer Natur - die sich der Gemeinde und den Fachleuten in den vergangenen 100 Jahren stellten, als auch diejenigen Wege aufzeichnen, die schlussendlich zu einer Lösung führten.

In den zwei ersten Kapiteln blicken wir zusammenfassend zurück auf die Jahre von der Stadtgründung bis 1850, wo noch am Stadtbache und an den Brunnen ein gemütliches Treiben und Schwatzen vorgeherrscht haben mag, und wo man die neueste Zeitung von draussen und den Stadtklatsch erfuhr. So schildert uns K a r l H o w a l d in seinen Memoiren (Stadtbibliothek) die gute alte Zeit: Frau Ammann besass zu unterst an der Junkerngasse - unweit des vierröhrigen Brunnen - ein Waschhaus. ≪ Wer in der nähern Umgebung des Brunnen wohnte, vernahm während des grössten Teils des Jahres schon am frühen Morgen den Gesang der Waschweiber beim Südeltrögli und den sie begleitenden Bass ihres Wasserträgers, Wascher-Johann genannt. Unter den Melodien "Guter Mond", "Heinrich schlief bei seiner Neuvermählten", erwachte die Nachbarschaft. ≫

Die restlichen Kapitel umfassen das Werden der Hochdruckwasserversorgung von 1867 an. Die Mitte des 19. Jahrhunderts bedeutete für die Stadt Bern den tiefsten Einschnitt in ihrer Entwicklung. Es zogen eben nicht nur sieben Bundesräte in die neuerwählte Bundesstadt, sondern ein ganzes Heer von Verwaltungsbeamten. Die eingesessene Bevölkerung wurde nach und nach in ihrer Eigenart zurückgedrängt, und die sprichwörtliche Originalität und Initiative der Berner wich einem pedantischeren Geiste, der von Jahr zu Jahr immer stärker den Pulsschlag der Stadt dirigierte. Die Bautätigkeit erfuhr nicht nur durch das Erstellen von Wohnblöcken, Verwaltungssitzen, Schul- und Geschäftshäusern einen nie gekannten Aufschwung, sondern auch durch das Erschliessen neuer Verkehrswege: Eisenbahnbrücke, Bahnhof, Kirchenfeldbrücke, Aarstrasse. Wie die technische Entwicklung und besonders die Einführung der Hochdruckwasserversorgung das Antlitz der Stadt änderte, zeigt uns Hans B l ö s c h in seinem Buch „7oo Jahre Bern": ≪Um die Brunnen und am offen fliessenden Stadtbach spielte sich das gewerbliche Leben ab; da wurde gewaschen und geputzt, der Küfer reinigte seine Fässer, der Dienstmann säuberte seine Handkarren, der Maler strich seine Fensterladen an. Mit der ersten Morgenfrühe kreischte die Säge durch die zähen Burgerknebel und tickte das regelmässige Spalten des geschickten Holzhauers, mit bellenden Dürrbächler ratterten die Milchkarren mit den hölzernen Brenten über das holprige Pflaster. Am Abend aber setzte sich dieses ganze Kleinbürgertum unter die Lauben auf die Steinbänke oder auf die roten Fensterkissen und verschwatzte und vertubakete den wohlverdienten Feierabend. - Diese ganze bunte Welt hat die Neuzeit unbarmherzig von der Strasse verbannt. Die Berner Gassen, die damals unser Kindertummelplatz waren, sind heute lebensgefährliche Verkehrsadern geworden, auf denen jeder unbesorgte Schritt verhängnisvoll werden kann. Die Leiermänner und Zigeuner, die Zuchthäusler und Originale in Anstalten versorgt, und seitdem im Jahre 1866 das Gaselwasser in die Stadt geleitet und jedes Haus und jede Etage mit fliessendem Wasser versorgt wurde, sind auch die Brunnen verwaist und dienen nur noch zum Schmucke der Strassen, sind heute sogar vielen bereits als Verzögerer ihrer Tram- und Autogeschwindigkeit lästige Verkehrshindernisse, und wir müssen froh sein, wenn ihnen mit Versetzen und Beiseiteschieben das Dasein gefristet werden kann. Diese moderne Wasserversorgung bedeutet für die Stadt eine gewaltige Umänderung des ganzen Lebens, und wie sehr man sich dieser Neuerung freute, bekundete der prachtvolle Springbrunnen im Wyttenbach zwischen den Toren, der in jenen Jahren erstellt wurde.≫

I TRINKWASSER AUS DEM STADTBEZIRK 1191 - 1393

Die Grundlage der Trinkwasserversorgung der Stadt Bern bildeten von der Stadtgründung 1191
3.11 bis 1393 die Ziehbrunnen und einige laufende Grundwasserbrunnen,
6.6 die vom Wasser, das durch die Alluvionen und unregelmässigen Schotterschichten alter Flussrinen der Aarehalbinsel fliesst, gespiesen wurden.

Chronist Justinger zählte am Ende des vierzehnten Jahrhunderts noch fünf benutzte Grund-
51.126 wasseraufstösse innerhalb des Stadtmauergürtels. Die Zahl, so schreibt Hofer, „ ...er-reichte jedenfalls nicht einmal ein Dutzend. Umso unentbehrlicher die Sodbrunnen." Der Sodbrunnen der
51.135 Burg Nydegg, der gegen Ende des zwölften Jahrnunderts gebaut wurde, also mitten in der Regierungszeit
51.134 Herzog Berchtold V, ist bedeutungsvoll wegen seiner technischen Qualität: der Arbeitsschacht ist „bis auf die untersten 2,3 Meter in die glazialen Schotter- und Lehmschichten getrieben, sodann der Quader-mantel, bei vorsichtigem Aufziehen der Schalungshölzer, Kranz um Kranz aufgeführt und zuletzt die Schachtbasis in den Felsen abgetieft worden; beachtlich vor allem auch der konische Schnitt des Hau-steinzylinders". Die obere lichte Weite beträgt 1,8 Meter und die untere 1,5 Meter. Der Grundwasser-spiegelharmoniert mit dem Aarespiegel {1961: 15,25 m Oberkant}. Der anstehende Felsen wurde in einer
51.132 Tiefe von 18,55 Meter {OK} angetroffen. „Im Aufbau des Quadermantels nimmt die Höhe der 65 Blockzei-lenvon oben nach unten ab"; oben 32 Zentimeter, unten 15 - 18 Zentimeter. „ In der 38. und 52. Schicht von oben nach unten sind Rechtecklöcher für bewegliche Balkenanlagen eingehauen. Die ausgezeichnet erhaltene Ueberarbeitung des Innenmantels stimmt mit derjenigen der Stoss- und Lagerfugenseiten der
51.134 Verkleidungsquadern am zähringischen Wohnturm genau überein." - Der Schacht wurde anfangs des fünf-zehnten Jahrhunderts zugeschüttet.

6.8/1o So fehlte es anfänglich nie an leidlich gutem Trinkwasser; es war hart (28^{o} - $5o^{o}$f) , als
4.3 auch chlor- und salpeterhaltig. 1873 beschloss die Sanitätskommission, die Sodbrunnen in den dichterbesiedelten Quartieren zu beseitigen.

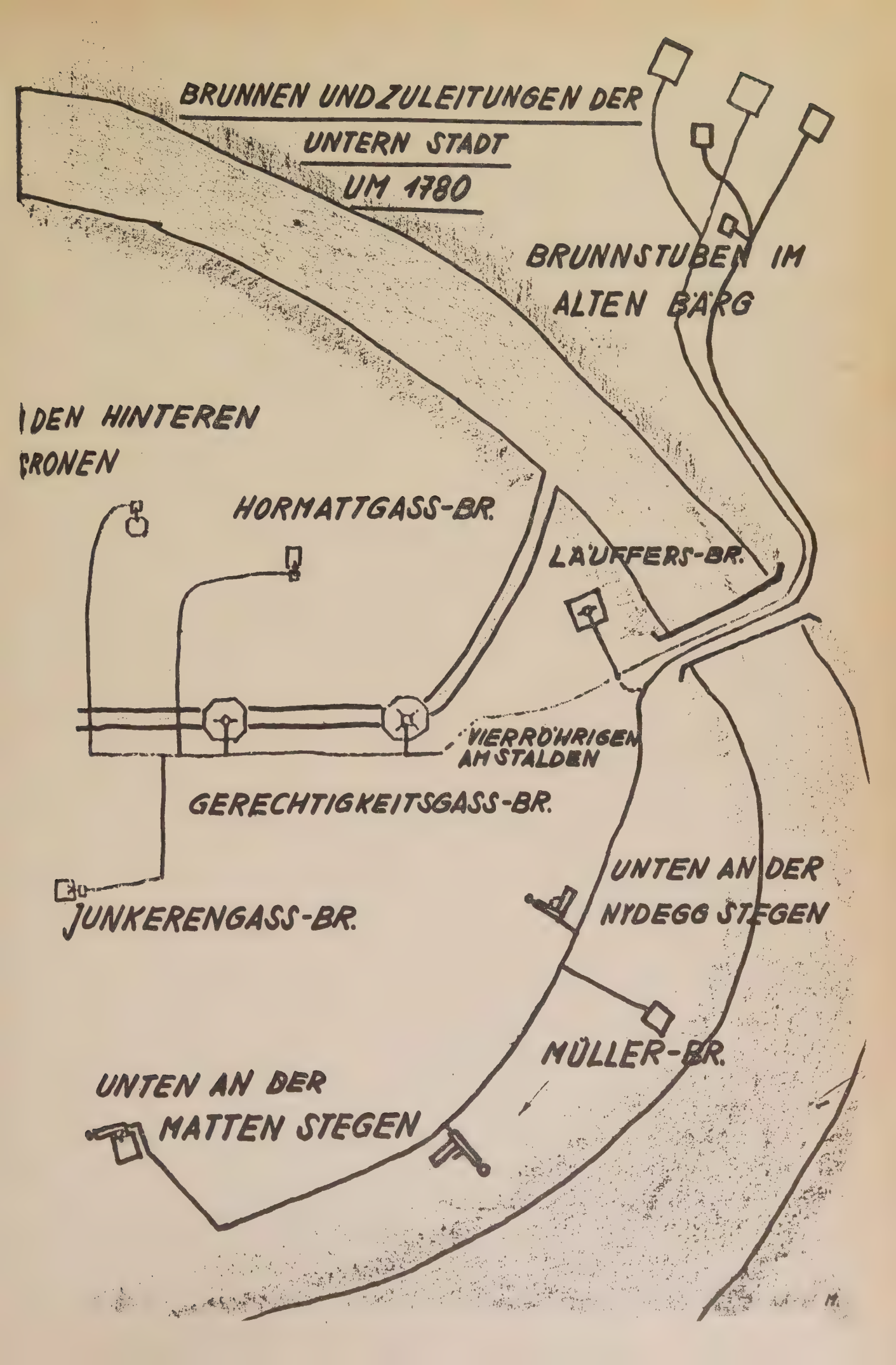
II WASSER AUS DER NAEHEREN UMGEBUNG DER STADT 1393 - 1869

Demselben Schicksal waren auch die laufenden Grundwasserbrunnen geweiht, von denen man an-fänglich vier kannte:

3.11
- Leubrunnen — an der heutigen Postgasshalde
- Schegkenbrunnen — westlich vor der Neuen Mädchenschule
- Stettbrunnen — Brunngasshalde/Postgasshalde
- Brunnen im Kreuzgang der Prediger — an der Halde bei der französischen Kirche.

Sie lagen auf der nördlichen Aarehalbinsel. Chronist Justinger erwähnt sie 1393: „Do man zalte von gots geburt 1393 jar, wurden die Stockbrunnen ze Bern in die stat geleit, und waz eine grosse notdurft",
6.16 „da indessen kein Tropfen Regen vom Himmel" fiel. Nach diesem heissen und trockenen Sommer wurde Quell-
3.14 wasser zeitweilig aus dem Bächtelengut am Gurten zu den Brunnen geleitet; zudem war die „nüwe stat" in
6.14 bezug auf die vorhandenen wasserführenden Horizonte der Alluvionen ungünstiger gelegen als die älteren
3.14 unteren Stadtteile. Eine Urkunde von 1380 soll schon einen vierröhrigen Brunnen auf dem Schwende-
platz, „oben am Stalden uff der Ebeni", sehr wahrscheinlich unten an der heutigen Gerechtigkeitsgasse, er-
wähnen. Schon um die Wende des vierzehnten Jahrhunderts hatte der Brunnenmeister, ein gelernter Zimmer-
3.15 mann, die Aufsicht über die Brunnwerke und ihre Zuleitungen, den hölzernen Dünkeln, und er war verant-
wortlich für die Wasserbeschaffung bei Brandfällen. 1420 bekam die Matte eine Zuleitung, worüber
sich Justinger äusserte: „... waz eine gross notdurft, won wie trüb und unrein die are waz ...". Nach
3.16 und nach bekamen auch die Kreuzgasse und die Aarebergergasse ihre Brunnen. Bis 1482 versuchten ver-
6.16 schiedene Leute, die oft von weither kamen, das Wasser des Küngsbrunnen, der in der heuti-
gen Gabelung Schlösslistrasse-Brunnmattstrasse gestanden hatte, vergeblich in die Stadt zu heben.
3.17/18 Ständig hatte die Behörde Sorge und Kosten wegen den Röhren, d.h. den Holzdünkeln. 1518 wurde zu
jedem Brunnen ein Brunnenaufseher bestimmt. Stockbrunnen wurden jene genannt, bei welchen das Wasser
aus einem hölzernen Stock ausfloss, der meist von einem Wimpel geziert wurde. Nach und nach ersetzte
man sie durch steinerne Säulen und Becken; auch neue Brunnen {Kindlifresser, Venner u.a.} wurden ge-
schaffen. Nach dem Muster einiger süddeutscher und benachbarter Städte wurden die Säulen 1542-45
bereichert durch charaktervolle, oft ergötzliche, schmucke Standbilder mit Kunstformen der Renaissance
6.22 {Gerechtigkeits-, Zähringerbrunnen u.a.}. Erstmals wurde daselbst urkundlich der Einbau eines
Hahnen in der Insel erwähnt. 1550 zählte man dreizehn Brunnen.

3.22-28
6.19/20 Endlich gelang es 1585 Pfarrer Strasser aus Stallikon (Zürich) mittelst einer Holz-
Leder-Druckpumpe das Wasser aus dem Küngsbrunnen in die obere Stadt zu leiten. Der
3.29 Stadtbach trieb die Wasserräder für den „Stämpfel" an. 1609 bestunden 18 Brunnen; im selbigen Jahr
rüsteten die Berner den Küngsbrunnen mit sechs Pumpen aus und erneuerten die Brunnenordnung. Um die Mitte
6.20 dieses Jahrhunderts bemühte man sich, neue Quellen für das Pumpenhaus in Holligen und Weiermannshaus zu
erschliessen. Neben dem Stadtbach und Sulgenbach versorgten noch folgende fünf hölzerne Leitungen die
3.40 Stadt mit Wasser: Matten-, Bächtelen-, Gurten-, Küngsbrunnen- und Engeleitung. Die vom Bächtelengut her-
kommendeBrunnleitung, die seit einiger Zeit schon aufgegeben worden war, wurde ab 1665 einer Ge-
sellschaftbernischer Burger mietweise überlassen. Dies ist wohl zurückzuführen auf den bis 1668 dauern-
3.42 den Ausbau Küngsbrunnenanlage zum Hauptwasserspender der Stadt; in strengen Wintern mussten stets viele
3.39 Arbeiter aufgeboten werden, um „der Vereisung im Brunnhaus und der Leitungen zu wehren". - Vermehrte Kla-
3.43 gen, dass die Stadtbrunnen nicht genügend Wasser lieferten, drängten zur Revision der Ableitungsrechte. Es
3.45 mochte sein, dass die Brunnmeister eigenmächtig dem einen oder andern Mitbürger „ein Röhrli voll werden
zugelassen haben". Warum nicht, wenn selbst ihr Vorgesetzter - „ein Bauherr vom Rat" - „selber Wasser ablei-
3.47 tete und auf seinem Landsitz verschiedene Brunnen errichtete! Nicht jeder liess sich die Brunnenrevision
gefallen; 1686 zeigte sich des Siechenmeisters ... Sohn widersetzlich, der das damals im Gang be-
findliche Zusammenfassen des Stadtbrunnenwassers auf die Weise störte, dass er jeweilen nach dem Weggang


BRUNNEN UND ZULEITUNGEN DER
UNTERN STADT
UM 1780
BRUNNSTUBEN IM
ALTEN BÄRG
DEN HINTEREN
CRONEN
HORMATTGASS-BR.
LAUFFERS-BR.
VIERRÖHRIGEN
AM STALDEN
GERECHTIGKEITSGASS-BR.
JUNKERENGASS-BR.
UNTEN AN DER
NYDEGG STEGEN
MÜLLER-BR.
UNTEN AN DER
MATTEN STEGEN

3.45 der obrigkeitlichen Werkleute die ausgeführten Arbeiten wieder abänderte ...". Mit dieser Untersuchung über Ableitungsrechte aus obrigkeitlichen Dünkel liessen es die Berner nicht bewenden, sondern be-
3.46 auftragten gegen 1690 Wassergraber und „Wasserschmöcker" neue Quellen zu suchen. So eröffnete die Trockenperiode 1719 einen lebhaften Ausbau der Wasserversorgung, der mit der Reinigung oder Neu-
3.63 fassung der Quellen am oberen Aargauerstalden und der „Brunnacten beim Gurten" begann. Der Neubau des Inselspitals {heute Bundeshaus Ost} verlangte vermehrten Wasserzufluss, obgleich 1703 und 1722 dem
3.68/69 Küngsbrunnen je ein neues Wasserrad und 1748 116 Pfund Leder „zu den Gschiren im Brunnhaus" eingebaut worden waren.

3.79 Das Ersetzen der Holzdünkel verursachte der Stadt stets grosse Kosten, weswegen 1716 die Vennerkammer befragt wurde „...ob nit zu Ersparung so vielen Holzes thunlicher wäre, zu den oberkeitlichen Brünnen wenigstens die Stadt hindurch i s e r n e, b l e y e r n e o d e r m ö s c h e n e
3.69 (messingene) Dünkel zu gebrauchen?" So legte man 1723 zu dem „neuwen Brunnen in der Insul"bleier-
3.79 ne Dünkel aus Feldkirch und 1741 eine eiserne Brunnenleitung „in und under dem neüwen Spital gebäüw". Die Fugen der Eisenrohre wurden mit Blei vergossen und mit starken Mutterschrauben angezogen. Die Nachricht, „dass von der letst gewesenen excessivischen Kälte ... verschiedene ... eiserne Dünkel ...gesprungen seyen und dato stark rünnen thüyen...", liess zur Vorsicht mahnen.

3.67 1740 wurde die Muesmattleitung und 1744 die Könizleitung I der Stadt zugeführt. Von
3.73 1755 bis 1760 versuchten die Berner am „alten Bärg" die verschütteten Quellen neu zu fassen, um
3.49 die untere Stadt bis zum Zeitglockenturm mit Wasser zu versorgen. Das Wasser floss nach der Fassung durch
3.5o „steinerne Kännel" in eine Brunnstube, und weiter unten durch eiserne Rohre über die Untertorbrücke. Zehn Jahre später gelang es noch, durch Tieferlegen der Fassungen, den Quellzufluss zu vermehren, obgleich oft
3.52 sehr viel Sand mitgeschwemmt wurde. Fünf Jahre nach der Entdeckung der Muristaldenquellen, südlich vom Bärengraben bis zum Gryphenhübeli, erhielt 1785 das Mattenquartier eine selbständige Zuleitung quer durch
3.53 das Aarebett. Schon vier Jahre darauf verrosteten die Eisenrohre, quer durch die Aare gelegt waren derart, dass das Bauamt dem Brunnmeister befehlen musste, die „eisernen Dünkel wegzuschaffen ... und wann das Aare-vermittelst des Rechens wieder verebnet sein werde, durch eicherne, mit eisernen Ringen wohl beschlagene so lang mögliche Dünkel zu ersetzen". Später belegte man die Leitung mit Steinplatten.

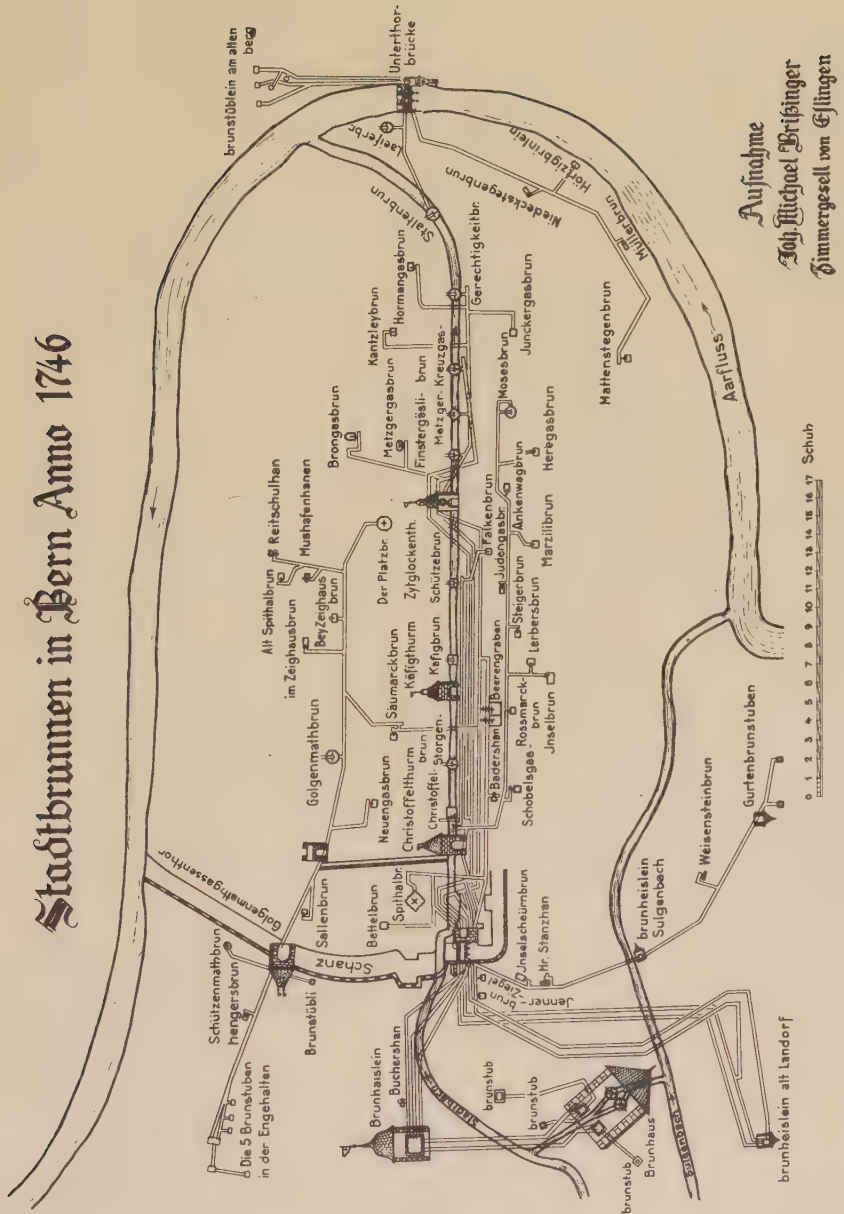
3.81 Eingangs des neunzehnten Jahrhunderts bestunden 64 B r u n n e n und 5 Z u f l u s s -
l e i t u n g e n:

- Gurtenleitung — bis zum oberen Tor
- Könizleitung I — bis zum oberen Tor
- Engeleitung — bis zum Bärengraben via Zeughausgasse
- Altenbergleitung — über die Untertorbrücke
- Muristaldenleitung — bis zum „Mattenstegen Brunn".

3.85 Von 1824 wechselte die Baukommission die hölzernen und bleiernen Dünkel der fünf Hauptleitungen, der Zwiebeln- und obern Gerechtigkeitsgasse aus. Von 1825 - 42 folgte diese Erneuerung für das restliche Hauptleitungsnetz mit Ausnahme der Mattenleitung, die über die Untertorbrücke in bleiernen Rohre verlegt worden war.

Nachdem im Jahre 1828 der Bauherr von Graffenried im Auftrage der Stadt im Weissenstein-
3.86/87 hölzli und im Inselwald bei Wangen bis fünfzig Meter Tiefe vergeblich nach Wasser gegraben hatte, liess er bei den sieben bestehenden Brunnstuben im Könizmoos einen 1000' {mehr als 300 Meter} langen Stollen in Richtung Landorf ausheben. Der Wasserzufluss im Gewölbe vermehrte sich rasch bis auf 670 Liter pro Minute. Von Graffenried stellte fest, dass die Ergiebigkeit sich im trockenen Sommer weder vermindert
3.89 noch im nassen Herbst vermehrt hatte, sodass dieser Stollen damals als die reichhaltigste Quelle der
3.91 Stadt angesprochen werden durfte. 1830 empfahl der Chemiker Pagenstecher - denn die Stadt hatte eine chemische Analyse verlangt - dieses Trinkwasser als gesund; es habe als fremdartige Hauptbestandteile nur etwas kohlensauren Kalk und etwas Gips enthalten. Das Hauptproblem dieser sehr erwünschten Quelle lässt
3.90 sich durch die Frage des Bauherrn von 1829 skizzieren: „Wenn nun 140 Mass {ca 240 L/M} Wasser in vier Leitungen nicht einmal Platz genug haben, wie vielfach muss denn die Leitung seyn, wenn noch mehr als 400 Mass {ca 670 L/M} dazu kommen?" Man hätte 15 Holzleitungen zur Stadt hinführen müssen! Ein Jahr darauf mass die Prüfungskommission den Zufluss sogar auf 1300 L/M! Doch die politischen Unruhen der Regeneration brachten das Projekt ins Stocken. In einem Bericht an den Stadtrat 1834 schreibt der Nach-
3.97 folger von Graffenried, Ingenieur Haag: Es ist „... noch kein Bauantrag vorgelegt worden, welcher rücksichtlich seiner Bedeutsamkeit der von den frühern Stadtbehörden erkannten neuen Könizleitung gleichkäme ...Seit langem schon hat sich ein Mangel an hinlänglichem Trinkwasser für hiesige Stadt kundgegeben. Er wurde umso fühlbarer, als in den letzten Jahrzehnten die Zahl der Einwohner und ihrer Bedürfnisse immer
3.98 im Steigen begriffen ... sind, dass je für 500 bis 600 Einwohner kaum ein Brunnen sich vorfand ... Wie die Brunnmine vollendet war, so zeigte sie ein Ergebnis ... welches ... zu allen Zeiten rechnen liess ... Die Quellen ... können entweder bis zur Brunnstube im Weissenstein oder bis zu derjenigen ... im Sulgenbachgut in einer zweifachen Reihe bloss hölzerner Deichel abfliessen, müssen aber von da hinweg ... wegen des starken Druckes ... mittelst einer doppelten Leitung eiserner Röhren in das Brunnhaus auf der Kleinen Schanze geleitet werden ...". Für die Verkittung der Deicheln, dem eine enorme Bedeutung zugemessen wurde,
3.100 kannte man drei Stoffe: Eisenkitt, Blei oder Feuerkitt. Die Ausführung der Könizleitung II, die im Frühling
3.103 1835 begann, konnte am 15. Dezember 1835 beendet werden. Die Vermehrung des Zuflusses, die in trockenen Jahren lediglich 545 L/M betrug, konnte jedoch weder die Hauptsammelbrunnstube auf der Kleinen Schanze noch die Stadtleitungen aufnehmen, sodass noch eine beträchtliche Menge in den Stadtbach überfliessen musste. Dieser mangelhafte Zustand der Brunnleitungen war der sinnlosen Vermehrung der Abzweigungen,
3.107 ohne dass man die Hauptleitungen vergrössert hätte, zuzuschreiben. Deshalb wurden zwischen 1840 und 1844 die Hauptleitungen im städtischen Netz gänzlich durch eiserne, mit dem erforderlichen Durchmesser ersetzt. Der äussere Teil der Könizleitung II blieb in hölzernen Deucheln.

Durch den Ausscheidungsvertrag von 1852 ging die Wasserversorgung von der Burgergemeinde an die Einwohnergemeinde über, und schon das folgende Jahrzehnt, brachte den Anfang der heutigen Hochdruckwasserversorgung.



{kopiert von der WVSB 1927;
Original unbekannt;
Neubeschriftet von der WVSB 1970;
mit Erlaubnis der WVSB übernommen}

III DIE SUEDLICHEN QUELLGEBIETE 1867 - 1906

Die Stadtentwicklung wurde in der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts mächtig gefördert durch

α) die Wahl zur Bundesstadt und zum Sitze verschiedener Behörden

β) den Anschluss an den Eisenbahnverkehr
1857 Bern - Olten
1859 Bern - Thun
1860 Bern - Lausanne
1864 Bern - Biel und Bern - Langnau

γ) Ueberbrückung der Aare im Süden 1881/82.

6.52 Die Stadt wuchs und der Bürger wünschte - wie in andern Städten - das Wasser im Hause. 1859 kaufte die Stadt die Schlierenquellen und erwarb 1867 nach einem Rechtsstreit das Zuleitungsrecht. Zur Neuerschliessung weiterer Quellen schlug ein Expertenbericht drei Möglichkeiten vor: Holligen, Wangen und Gasel. Da die beiden ersten Projekte durch Nebenleitungen und Punpwerke verteuert worden wären - die Quellgebiete liegen fünfzig Meter tiefer als beim Letzteren -, gab die Stadt dem Gaselwasser den Vorzug. Mit dem Jahre 1869, als die Gasel- und Schlierenquellen erschlossen und das Könizbergreservoir I gebaut worden war, begann für Bern die Epoche der Hochdruckwasserversorgung. Schon das folgende trockene Jahr veranlassten die Behörden, sich nach
6.54 weiteren Quellen umzusehen; so baute die Stadt 1873-79 die Scherlitalfassungen mit einer direkten
6.55/89 Zuleitung zum gleichzeitig erweiterten Könizbergreservoir I aus. 1890-95 folgten sich die Gewinnung
6.89/55f der Brünnbach-, Aeckenmatt- und Stolzemühlequellen. 1897 wurde das Könizbergreservoir II um drei Kammern erweitert.

19o4/1898 Nachdem in den Jahren 1873/74 365 und 1898 75 Fälle von Typhus auftraten, war es höchste Zeit, das städtische Quellwasser regelmässig chemisch zu untersuchen. Hatten doch schon Pagenstecher und
4. Müller 1844 das Trinkwasser chemisch analysiert und gleichzeitig die Methoden hierzu aufgezeichnet.
6.1o8 1900 begannen nun ständige bakteriologisch-chemische Kontrollen der Quellgebiete, des städtischen
19o1.49 Leitungswassers und auch der privaten Brunnen. So konnten bald diejenigen Quellen festgestellt werden, die nach Schneeschmelze oder starken Niederschlägen das Wasser bakteriologisch verunreinigten. In den
6.1o9 Scherlitalquellen vermehrte sich die Keimzahl nach heftigen Regengüssen am stärksten. Weshalb?
17.1

α) Es fehlen hier grössere Abflussrinnen des einen oder andern Gletschers, so auch grosse grundwasserführende Schottergebiete.

β) Als Wasserträger kommen vor:

- Schotterfeld von Elisried und Brünnbach.
- die schmalen, mit verwittertem Molassesand und Ton durchsetzen Talrinnen von Gasel und Scherlital
- im weitern einzelne Schuttkegel, Moränen und Gehängeschutthalden.

γ) Alle Wasserträger sind auf dem unregelmässigen Molasserelief gelagert, wobei das fliessende Wasser den feinen Sandstein auflöst und den Feinsand in grossen Mengen durch Brunnstuben und Reservoire bis in die Hausinstallationen trägt, wo dieser sich im Sieb des Wassermessers absetzt.

δ) Das Filtervermögen des Untergrundes hat durch die genannten Ausspülungen stark abgenommen.

LEITUNGSNETZ DER STÄDT. WASSERVERSG. BERN UM 1889

ENTNOMMEN DER KARTE
JENNY, BALTZER, KISSLING
1885 – 1889
DRUCK: KÜMMERLY BERN

1:25000

N

1946.387 Der Zufluss aus den südlichen Quellen liess stets eine direkte Abhängigkeit von den Nieder-
19oo.49 schlägen erkennen. Dies zeigten die Jahre 1899/1900 mit ihren schneearmen Wintern und den trockenen Sommern und Herbste, wie der trockene Februar 19ol. Weil die Verbrauchsschwankungen auch durch die Witterungsverhältnisse bedingt sind - bei grosser Kälte liess man das Wasser laufen, bei heissem Wetter war der Konsum sowieso hoch -, mochten diese Quellen den Bedarf der wachsenden Stadt bis zur Jahrhundert-wende nur knapp zu decken. Mehrere G r ü n d e bewogen die zuständige Behörde schon vor Ablauf der Garantiezeit am 1. Juli 1900 sich nach weiteren Quellgebieten umzusehen:

α) Unstetigkeit und oft Ungenügen des südlichen Zuflusses; bei viel Niederschlägen floss viel Wasser der Stadt zu, das jedoch getrübt durch Sand- und Tonteilchen war; bei trockenem und heissem Wetter aber kam wenig Wasser, wo doch ein grosser Bedarf vorhanden gewesen wäre.

β) Bevölkerungsentwicklung!

Jahr	Zufluss m^3/d	Spitzenverbrauch m^3/d	Spitzenverbrauch L/Ed	Einwohner
1898	16 790			
1899	14 890			
1900	17 338	2o 33o	317	64 1oo
19o1	17 971	2o 23o	3o7	65 985
19o2	19 736	17 7oo	263	67 7o5
19o3	21 384	21 4oo	3o6	69 913

29.II.43 Die Bedürfnisfrage ging dahin, dass 1oo ooo Einwohner künftig mit 25o L/Ed versorgt werden sollten. Dies entspräche 25 ooo m^3/d oder 17 3oo L/M. Aus den südlichen Quellen konnte mit einem Ertrag von 1o ooo L/M gerechnet werden; zur Deckung des zukünftigen Bedarfes hätten mindestens noch 7ooo L/M beschafft werden müssen.

6.134 γ) Gewerbliche und industrielle Entwicklung.

δ) Das Aufkommen sanitärer Einrichtungen - wie dem Wasserhahnen im Hause, das Bad, das Closett mit Hahnenspülung und erst später mit der sparsameren Kastenspülung, als auch der eigene Waschkeller - liessen den Wasserkonsum mit dem Lebensstandard rasch ansteigen.

W a s e r g a b e n d i e E r h e b u n g e n a b 1 8 9 9 ?

6.134 a) Die Untersuchungen in den südlichen Quellen zeigten, dass sie zu wenig ergiebig und die Erstellung neuer Hauptzuflussleitungen unumgänglich waren.

1900.51 b) Die Grundwasserpumpversuche im Lindenaugut förderten nur 1ooo bis 16oo L/M. Dieses „Wasserquantum wäre zu gering, um die Zunahme des Wasserbedarfs auf eine grössere Anzahl Jahre hinaus zu decken".

c) Das Grundwasservorkommen im Gürbedelta bei Selhofen mochte auch nicht zu befriedigen und hätte heraufgepumpt werden müssen.

d) Wegen den hohen Kosten musste „doppelt filtriertes Aare- und Thunerseewasser" abgelehnt werden.

19o1.51 e) Zweifellos liesse sich der Wasserverbrauch auch drosseln durch geeignete Massnahmen (Abstellen der Wasserverteilung in kalten Nächten, Kontrolle der Wasserhahnen, Anbringen von Wassermessern, Preiserhöhungen wie 19o3, Behebung von Leitungsdefekten); dabei würde aber weder der Wasserkonsum, noch der Reingewinn dieses öffentlichen Betriebes steigen!

Jahr	Zahl der Wassermesser	max.L/Ed	Jahr	Reingewinn nach der Tariferhöhung
1899	469	354	19o6	2o8 133 .-
1900	716	346	19o7	181 457 .-
19o1	9o5	344	19o8	2o5 513 .-
19o2	1217	324	19o9	199 85o .-

19o3.21
28.15
28.144

f) Die Zuleitung der Emmentalquellen ergäbe für die Gemeinde 1o ooo bis 12 ooo L/M „ausgezeichnetes Trinkwasser" und „sehr geeignetes Brauchwasser". - In Ramsei bei Aeschau entsprangen „zwei Quellen aus dem Talboden von grosser Mächtigkeit". Wörtlich heisst es in der Botschaft an die Gemeinde: „V o r g e n o m m e n e F ä r b v e r s u c h e haben mit aller Bestimmtheit den Beweis erbracht, dass k e i n E m m e n w a s s e r i n d i e s e l b e n h i n e i n f l i e s s t ... Die Gutachten der Herren Dr. Kissling und Dr. Thomann lassen darüber keinen Zweifel bestehen".

Zwanzig Jahre später allerdings musste diese Ansicht geologisch und hydrologisch geändert werden; das will heissen, dass weder nach den Färbversuchen noch nach den biologischen Expertisen geschlossen werden darf: wenn die Farbe oder eine Bakterienart nicht im Grundwasser erscheint - die jedoch im Flusse vorkommt -, so bestehe kein Zusammenhang zwischen Vorfluter und Grundwasser, nein! Man hat damit lediglich die Abhängigkeit noch nicht beweisen können, weil der Untergrund vielleicht diese Indizien wegfiltrierte.

28.26

Da im Sommer 19o2 im Volke befürchtet wurde, dass den Stadtbewohnern der Kropf wachsen würde beim Genusse des Emmentalwassers - denn die Emmentaler seien „stark mit Kropf behaftet" -, musste das kantonale Sanitätskollegium ein Gutachten abgeben:

28.27

α) Das Wasser stammt tatsächlich aus einer Gegend, „in welcher die Bevölkerung von der Kropfepidemie in hohem Grade befallen ist".

β) Die Bewohner der südlichen Quellgebiete, woher Bern seit 1893 Wasser bezieht, sind „nicht viel weniger von Kropf heimgesucht als diejenigen der oben erwähnten Quellgebiete".

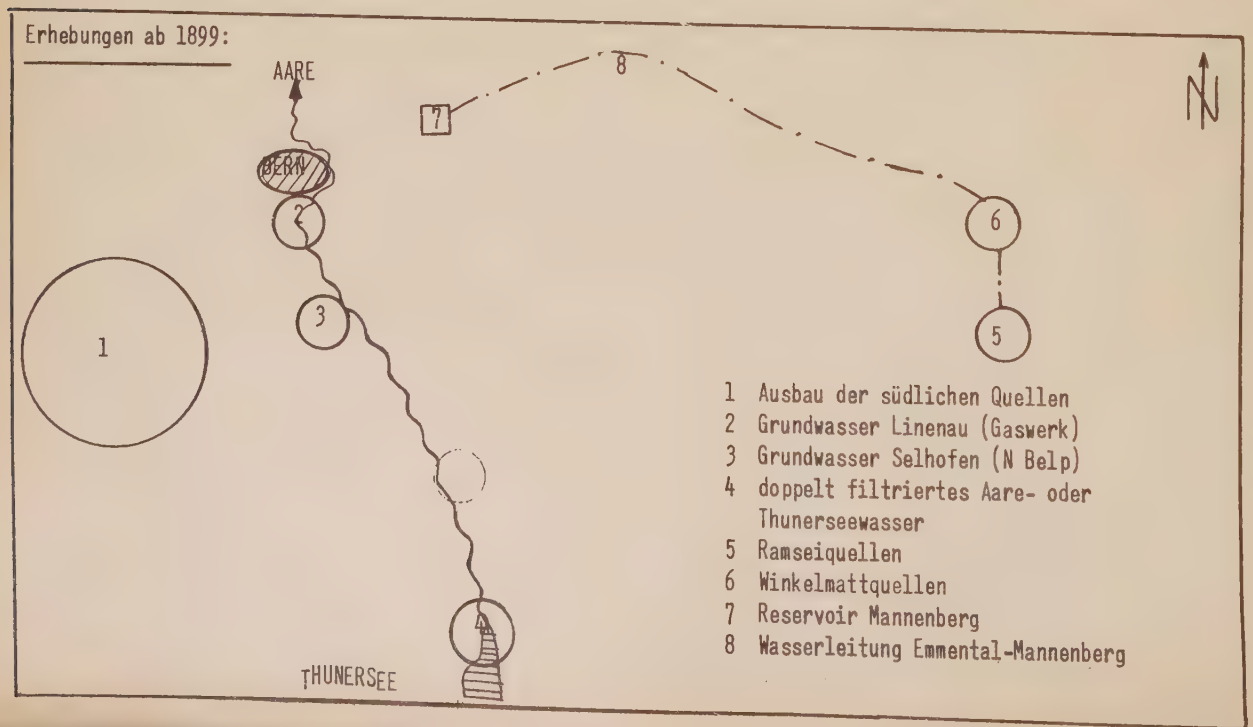
γ) „Trotzdem aber Bern seit ca. zehn Jahren Trinkwasser konsumiert hat, welches aus dieser Kropfgegend stammt, hat der Kropf bei der Bevölkerung von Bern ... nicht zugenommen".

28.26
28.28

δ) Es kann sein, dass „das kropferzeugende Agens den Menschen durch das Trinkwasser übermittelt wird". Eine ärztliche Untersuchung ergab, dass die einzige Person, die ausschliesslich Ramseiquellwasser genoss und eine stärkere Kropfbildung aufwies, erst seit wenigen Jahren dort wohnte!

19o3.6

Die Behörde empfahl den Ankauf der Ramsei- und Winkelmattquellen, sowie den Bau der Herleitung mit einem Hochreservoir auf dem Mannenberg, was am 12. und 13. D e z e m b e r 1 9 o 3 vom Volk gutgeheissen wurde.



Quellgebiete	Erbauer	Fassungsart	Brunnstuben Art der Hauptsammelleitung		Messbrunnstube	Art d. Hauptzuleitung	Rohrlänge in km
Gasel	Baukommission der Wasserversorgung	Drainierröhrchen zem. Sickerrohre	26	Z + G	Settibuch	G	8,8
Schliern	Gaselgesellschaft + Wasserversorgung	Sandsteinkännel	3		Bächtelen	G	1,5
Scherlital	Wasserversorgung in Regie	zementene Sickerrohre	75	Z	Schlatt	Z + G	16,2
Brünnbach	Brunschwyler + Herzog	zementene Sickerrohre	25	Z + G	Drunggli	Z	12
Aeckenmatt	Wasserversorgung in Regie	zementene Sickerrohre	18	G	Riedburg	Z	5,8
Aussertheil	Brunschwyler + Herzog	zementene Sickerrohre	13	Z	Helfenberg	G	3,6

Reservoir Könizberg

Ausbau Nummer	Jahr der Inbetriebsnahme	Fassungsvermögen in m³	Einwohnerzahl	Fassungsvermögen in Liter pro Einwohner
I	1869	2 ooo	35 ooo	57
II	1879	5 2oo	42 ooo	124
III	1897	1o 4oo	57 ooo	182
IV	1955	13 ooo	165 ooo	79

Die südlichen Quellgebiete
1 8 6 5 - 1 9 o 3

1 Reservoir Könizberg
1869

2 Schliern
3 Gasel
1865 - 1869

4 Scherlital
1873 - 1879

5 Brünnbach
Aeckenmatt
Aussertheil
189o - 1895

IV EMMENTAL 1906 - 1927

6. 5. 1903 Kaufvertrag mit dem Eigentümer der Quellen, Johann Brunschwyler.
10. 6. 1903 Botschaft des Gemeinderates an den Stadtrat.
16. 10. 1903 Beschluss der vorberatenden Behörde.
13. 12. 1903 Gemeindeabstimmung mit 85,5 % Ja-Stimmen.

11. 1. 1904 Baubeginn.
14. 9. 1904 Bubeneytunnel bei Ramsei.
17. 5. 1905 Fassungen Ramsei und Leitung bis Messbrunnstube Emmenmatt.
3. 1906 Eitunnel.
5. 1906 Freudigentunnel.
9. 9. 1906 Emmentalwasser floss erstmals in die Stadtleitung I.
10. 1906 Einlauf- und Schiebekammer Mannenberg I {1000 Kubikmeter}.
21. 7. 1906 Ablauf der Garantiezeit.

Für die Gemeinde Bern ist die Erschliessung der Emmentalquelle I im Jahre 1906 als Wohltat zu bezeichnen; denn nun waren die Stadtväter der Sorge der quantitativen, als auch der qualitativen Wasserversorgung für die nächsten zwei Jahrzehnte enthoben. Weswegen?

α)

	Südliche Quellgebiete exkl.Stadtbrunnen 1899 - 1906	Emmentalquellen 1905 - 1906	Total
minimaler Zufluss in Liter pro Minute	9 943	19 608	29 551
minimaler Zufluss in Liter pro Einw.+ d	132	259	391
langjähriger Durchschnitt in L/M	14 628	22 500	37 128
absolutes Minimum in Liter pro Minute	6 988	17 450	24 438
maximale Schwankung zum Mittel	52 %	23 %	-

1904.20/52
1903.55
1905.50
29.I.79

β) Der städtische Bakteriologe, der seit 1903 regelmässig das Wasser im Quellgebiet und imLeitungswasser auf Gesamtkeimzahl und bacterium coli analysierte, äusserte sich wie folgt am 4. März 1903: Im Quellgebiet herrschte „Schneeschmelze verbunden mit Regen und es sind gleichwohl die Resultate der bakteriologischen Untersuchung sehr günstig geblieben ... Es ist demnach konstatiert, dass die Quellen bei Emmenmatt und bei Ramsey ein ausgezeichnetes Trinkwasser liefern".

- - - - - - -

Wie muss das Trinkwasser beschaffen sein, das sich der
2.29 Bürger wünscht? Es sollte farblos, klar, kühl, geruchlos sein und gut schmecken; vor allem aber darf es keine gesundheitsschädliche Eigenschaften haben und muss frei sein von Krankheitserregern. Im verunreinigten Wasser befinden sich Bakterien {Spaltpilze}, kleine pflanzliche Lebewesen, deren Bedeutung in der Natur sehr gross ist: sie zersetzen faulende und verwesende Stoffe - bauen dabei den Sauerstoff ab - und vermehren sich rasch. Die chemische Analyse auf krankheitserregende (sog. pathogene) und harmlose Bakterien ist umständlich und dauert lange. Die Faustregel für den Laborant heisst nun: je kleiner die Keimzahl, umso geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich pathogene Erreger {Cholera, Typhus, Ruhr u. a.} darunter befinden. Zusätzlich wird bei jeder Untersuchung die Zahl des bacterium coli, des typischen Vertreters der normalen Darmbakterien von Mensch und Tier, ermittelt, woraus geschlossen werden kann, ob das Wasser
2.30 mit tierischen Ausscheidungen in Berührung gekommen ist.

B e s t i m m u n g d e r G e s a m t k e i m z a h l :

α) Da die Bakterien sich auch in reinem Wasser rasch vermehren, werden die die Proben in Kühlschränken aufbewahrt und rasch verarbeitet.

β) Ein Kubikzentimeter Wasser wird mit zehn Kubikzentimeter erwärmter Nährgelatine {35°} in einer Petrischale gemischt.

γ) Durch Abkühlung wird jeder einzelne Keim festgeleimt, der sich nach 48 Stunden im Brutkasten zu einer sichtbaren Kolonie entwickelt, welche dann mit Hilfe

δ) einer Gitterplatte ausgezählt werden kann.

B e s t i m m u n g d e r K e i m z a h l d e s b a c t e r i u m c o l i :

a) bacterium coli vergärt und trübt eine schlbestimmte Trauben- und Milchzuckerlösung, begleitet von Säure- und Gasbildung. Proben von 1oo, 5o, 2o, 1o Kubikzentimeter werden doppelt in 37° und 46° vierundzwanzig Stunden lang bebrütet.

b) Ein bact. coli in 1oo Kubikzentimeter bedeutet l e i c h t e Verschmutzung und ein bact. coli in zehn Kubikzentimeter bedeutet s t a r k e Verschmutzung.

Neuere Methode:

- Die Wasserprobe wird durch ein feines Membranfilter - das den Durchtritt des bact. coli verhindert - gesogen.
- Das Filter wird mit der Nährlösung vierundzwanzig Stunden bei 42° bebrütet;
- dann wird die sichtbar gewordene metallglänzende Bakterienkolonie ausgezählt.

19o7.57 19o7 berichtete der Bakteriologe: „Die regelmässigen bakteriologischen und chemischen Untersuchungen haben ferner ergeben, dass das Privileg, n u r Wasser von den Emmentalquellen zu besitzen, vor allem dem Lorrainequartier zukommt. Dieses Wasser ergab durchwegs die besten Resultate; wesentliche Schwankungen im Bakteriengehalt bei verschiedenen Witterungsverhältnissen waren nicht zu beobachten, auch konnten bei keiner Untersuchung Colibakterien nachgewiesen werden". - Die Wichtigkeit solcher chemischer 19o4.52/53 Analysen wurde unterstrichen durch die Typhusepidemie 1 9 o 4 - es wurden 290 Typhusfälle gemeldet -, die eine verschärfte Inspektion der Trinkwasseranlagen forderte.

Das Gesundheitswesen beanstandete, dass

1. „zu Regenzeiten die stärkste Bakterieninvasion von seiten des Scherlitalwassers stattfinde" (bis Anfang Juli „ungewöhnlich hoher Quellenstand", Typhusepidemie vom 19. 6. bis 1o. 9.) und
2. es i.a. „immer noch an der nötigen Reinhaltung, speziell der Sodbrunnen" fehle {1 8 o 3 hatte die Sanitätskommission die Schliessung der Sodbrunnen für Trinkwasserzwecke in dichter besiedelten Quartieren verlangt!}.

- - - - - - -

Die E r g i e b i g k e i t und die K o n s t a n z der Emmentalquellen g r ü n d e t in den h y d r o l o g i s c h e n u n d g e o l o g i s c h e n V e r h ä l t n i s s e : Die Anhöhen 6.14o des Einzugsgebietes sind stark bewaldet (ca. 5o%). Das Porenvolumen und die Durchlässigkeit der Waldböden ist bedeutend grösser als der Weide-, Wiesen- und Ackerböden, sodass das Wasser unterirdisch abfliessen kann; auf Freilandböden - wie bei den südlichen Quellgebieten - dagegen erfolgt, besonders bei Regengüssen und Schneeschmelze, der Abfluss grösstenteils als Oberflächenwasser. I m Boden erfolgt der Abfluss viel langsamer als a u f dem Boden und wird zudem in den Hohlräumen gespeichert; d.h. bei intensiven Niederschlägen erweist sich das Retensionsvermögen des Waldes als sehr gross. Die Abflussschwankungen sind daher in bewaldeten Gebieten ausgeglichener, was teilweise auch eine Folge der g l e i c h m ä s s i g e n T e m p e r a t u r - u n d F e u c h t i g k e i t s v e r h ä l t n i s s e von Luft und Boden

sein dürfte. Zusammenfassend sei gesagt, dass die bewaldeten Zonen im Voralpengebiet gleichmässiger und viel mehr Grundwasser liefern als das Wasser, das aus unbewaldeten Gebieten einfliesst.-Ueber das Einzugsgebiet der Quellen hat Kissling folgenden Bericht abgegeben:

≪ α) Die sogenannten Winkelmattquellen entspringen auf einer Strecke von ungefähr siebzig Meter zwischen den Höfen „Winkelmatt" und „Brunnmatt" am Fusse einer Terasse in einer Höhe von 65o Meter über Meer. - Ihr Quellgebiet erstreckt sich vom Zusammenfluss der Emme und Ilfis südwärts hinauf nach der Gartegg und dem Reckenberg. - Der untere Teil des Gehänges ist eine Terassenlandschaft; drei Terassen liegen in verschiedenen Niveaus übereinander. Diese Terassen bestehen grösstenteils aus Schuttmaterial, Sand, Kies und groben Rollsteinen. Dieses Schuttmaterial erreicht an einigen Stellen eine Mächtigkeit von über zwanzig Metern und liegt auf einem Molassesockel auf. Die waldigen Höhen gehören dem Nagelfluhgebeit an. - Die Quellen werden gespiesen durch: 1. diejenigen Niederschläge, welche die mächtigen Schuttmassen der ausgedehnten Terrassen durchsickern und dann in der Tiefe auf der Molasse abfliessen;

2. solche, die im obern Teil des Einzugsgebietes durch die Nagelfluhbrücke auf eine Molassen- oder Mergelschicht gelangen und auf dieser abgeleitet werden.

Da nun die Nagelfluh- und Molassenbrücke mit zehn Grad nach Nordwest fallen, so folgt daraus, dass die Wasserführung von der Form der Bodenoberfläche unabhängig ist, dass also das Einzugsgebiet der Quellen sehr ausgedehnt sein muss. Damit sind die Bedingungen erfüllt, welche an eine gute Quelle gestellt werden. Die Winkelmattquellen zeichnen sich aus durch grosse Konstanz ihrer Wassermengen.

β) Die prächtigen Quellen von Ramsei zeigen in ihrem Auftreten die grösste Aehnlichkeit mit den Winkelmattquellen. Auch sie treten im Talboden aus, am Fusse einer ausgedehnten Terrasse, Terrasse von Mutten, und an der Grenze von anstehendem Fels mit der Talausfüllung. - Ihr bedeutendes Wasserquantum - 12 ooo Minutenliter am 8. Dezember 1899 - zwingt zur Annahme eines ausgedehnten Einzugsgebietes. - Zur Bestimmung desselben und für die Erklärung der Entstehungsweise der Ramseyquellen überhaupt ist von grösster Bedeutung eine Zone von vorherrschend gelben, sandigen Mergeln, die eine Mächtigkeit von gegen hundert Metern erreicht und die, so viel bis jetzt ersichtlich, von Ramseyschachen aus der Sohle des Haupttales aufsteigt und südwärts über Mettlen, Folz, in den Netschbühlgraben nach dem Kapf ins Röthenbachgebiet hineinstreicht. Die gleiche Zone ist auch am rechten Talgehänge zu verfolgen; sie erreicht den Talgrund etwas früher als die vorige, nämlich bereits in der Nähe von Aeschau. In der genannten Mergelzone haben wir offenbar den Wasserhorizont zu suchen. Die Sickerwasser des grossen Einzugsgebietes fliessen auf und in der Mergelzone selber ab, um dann dort, wo jene durch das Haupttal angeschnitten wird, also an der Grenze mit dem Schuttboden, als Quellen auszutreten. Soweit die mir zur Verfügung stehenden Beobachtungen reichen, scheint mir die obige Deutung der Ramseyquellen die richtige zu sein. Sie erklärt zwangslos das grosse Wasserquantum und die Konstanz des Ergusses. Es ist zwar nicht ausgeschlossen, dass auch

das Grundwasser der Emme einen grösseren oder geringeren Anteil am Quellerguss hat und es wird notwendig sein, einen solchen mittelst eines Färbversuches eventuell nachzuweisen. ≫

Wir ersehen, dass die Gutachten des Chemikers, des Geologen und Hydrologen dieses neue Speisegebiet durchwegs zum Ausbau für Trinkwasserzwecke empfahlen.

- - - - - - - -

So trat Joh. Brunnschwyler, Bauunternehmer in Bern, gemäss dem Wasserverkaufsvertrag vom 6. Mai
28.17 19o3 „der Gemeinde Bern das sämtliche von ihm in den Gebieten Ramsey und Winkelmatt gekaufte Quellwasser
28.19 mit allen dazu erworbenen Rechten ab"; die Quellen mussten „frei von allen und jeglichen Servituten" sein. Er verpflichtete sich

a) alle Ausführungspläne mit den erforderlichen Angaben anzufertigen und
b) einen Minimalerguss von lo ooo Litern pro Minute zu garantieren; jedoch
c) hat die Wasserversorgung das vollendete Werk bis und mit Reservoir Mannenberg I zu bezahlen; sie behält sich die Oberaufsicht über die Ausführung vor.

- - - - - - - -

Die Emmentalwasserversorgung lässt sich technisch in vier Abschnitte ordnen:

1. Fassungen und Brunnstuben
2. Messbrunnstube Emmenmatt und die Hauptzuleitung
3. Reservoir Mannenberg I
4. Stadtleitung I

6.142/143 Als Fassungen dienten in Ramsey und in der Winkelmatt bergseits geschlitzte Sickerrohre aus Portlandzement {Durchmesser o,3 bis o,6 m}, die 1,5 bis 6 m tief in die mit Kies aufgeschüttete und mit einem Betondeckel abgedichtete Sickerleitung eingelagert wurden. Dadurch liess sich das Grundwasser vor dem Eintritt in die Sickerrohre filtrieren und konnte nicht durch Oberflächenwasser verunreinigt werden. Vorerst
6.144 verbot ein Servitut das Düngen der Grundstücke um die „Quellen". 1929 ersetzte man es durch Schutzzonen. - Im Ramseigebiet sind 276 m und in der Winkelmatt 29o m Sickerrohre eingelegt worden. Die Hauptsammelleitung {Durchmesser o,5 m} von den Ramseifassungen führt durch den Bubeneytunnel in eine Ablassbrunnstube, wo die Sandteilchen sich absetzen und durch einen Leerlauf ins Emmenbett abgeleitet werden können; alsdann mündet sie, wie auch die Winkelmattsammelleitung, in der Emmenmattbrunnstube. Da in der Winkelmatt der anstehende Felsen längs der Terrasse unterhalb den Sickerleitungen stark abfällt, und das fliessende Grundwasser tal-
6.152 wärts wegfliessen konnte, wurden unterhalb der Fassungsröhren Abdämmungen aus Zementbetonsätzen gebaut. Ein
6.155 solider Rost aus dicken tannenen Latten schützte das Gussyphon, das das Flussbett quert, gegen Steinschlag und Unterspülung.

6.162 Der Wasserspiegel des gefüllten Könizbergreservoirs (622,27 m ü.M.) bestimmte natürlich die Höhenlage des Gegenreservoirs Mannenberg, dessen Ueberfall auf 622,5 m ü.M. festgesetzt wurde und so einen leichten Ueberdruck erzeugt. Die Höhendifferenz Emmenmatt-Mannenberg von 25,13 m auf einer Strecke von 29 km entspricht einem Wassergefälle von ca. o,8 Promille.

Die Hauptzuleitung besteht aus - 21 km Gravitationsleitung mit o,o8 Promille Gefälle und
- 8 km Syphonleitung mit 1 Promille Gefälle.

Das Reservoir gleicht Verbrauchschwankungen aus, ermöglicht einen gleichmässigen Versorgungsdruck und hilft die Zeiten des Spitzenverbrauchs überbrücken; die günstige gegenseitige Lage der Behälter Könizberg III und Mannenberg I ergeben auch gute hydraulische Verhältnisse. Das neue Reservoir ist in drei Kammern unterteilt:

1. Einlaufkammer mit den Messvorrichtungen
2. Wasserkammer mit tausend Kubikmeter Inhalt
3. Schiebekammer.

Es wurde so angelegt, dass die Kapazität durch Anbauen weiterer Wasserkammern leicht gesteigert werden könnte.

Dank der guten Zusammenarbeit von der Wasserversorgung der Stadt Bern und der Firma Brunschwyler floss schon im September 19o6, nach zweidreiviertel Jahren Bauzeit, Wasser in die Stadt. Dies musste damals
19o6.22/23 von der Bevölkerung als Labsal empfunden worden sein, fehlten doch im zweiten Halbjahr grössere Niederschlagsmengen, die zur Speisung der Quellen notwendig gewesen wären. In sechsunddreissig Nächten musste die Wasserversorgung unterbunden werden, denn die südlichen Quellen ergaben im zweiten Halbjahr durchschnittlich 1o ooo L/M oder 19o L/Ed ab, während vom Emmental immerhin 19 396 L/M oder 256 L/Ed zugeflossen wären.
19o7.26 Dies zeigte wiederum deutlich, wie die Emmentalquellen - neben ihrem keimarmen Wasser -, durch die ausser-
19o8.25 ordentliche Gleichmässigkeit, die von Witterungseinflüssen wenig gestört wird, sich auszeichnen. Diese Gründe veranlassten auch die Behörde 19o7-19o8 die Quartiere westlich der Aare, besonders das Längassquartier, durch einen Hauptleitungsstrang über die damalige Eisenbahnbrücke mit Emmentalwasser zu versorgen. So stellte
19o9.63 der Kantonschemiker nach den Ergebnissen der Analysen fest, dass den Lorraine-, Breitenrain-, Ostermundigen-Längassquartieren hauptsächlich Emmentalwasser, dem Kirchenfeld gemischtes und der mittleren Stadt südliches Quellwasser zugeführt wurden. Der heisse und trockene Sommer 1911 belohnte den erwähnten Ausbau; die Wasserversorgung war sichergestellt, und der Verbrauch konnte auf 475 L/Ed steigen. Eine Tafel unterstreicht die prekären Niederschlagsverhältnisse:

Quartal=>	1.	2.	3.	4.	Jahres=summe	Jahres=differenz	Ausfall der N in Zahl der durchschn. Monatsniederschläge
Langnau 1911	174	321	199	228	922	238	ca. 2,4 Monatsniederschläge fehlen
Fünfjahresmittel	231	296	397	236	1160		
Schwarzenburg 1911	201	327	175	273	976	188	ca. 2 Monatsniederschläge fehlen
Fünfjahresmittel	244	314	366	240	1164		
Bern 50-jähriges Mittel	173	290	329	211	1003		

V RESERVOIR MANNENBERG II, OESTLICHE STADTLEITUNGEN II UND III 1911 BIS 1914

Eine städtische Wasserversorgung stellt für den planenden Ingenieur hohe Anforderungen; er muss seine Projekte nicht nur zeitgemäss bauen und ausbauen, sondern sie müssen die Gegenwart um zehn bis fünfzig Jahre überdauern: Reservoire und Aufbereitungsanlagen sollten einen Zeitraum von 25 Jahren, Rohrnetz und Fernleitungen einem von fünfzig Jahren genügen. Es war sinnvoll bei der Planung des Emmentalwerkes die Fernleitung im Querschnitt auf achtzig Zentimeter festzulegen {==> min. 18 ooo L/M} und den Boden zur Erweiterung des Reservoirs zu sichern; denn schon bald wurde die Vergrösserung notwendig. Im allgemeinen sollte das Speichervolumen grösser als die Hälfte des maximalen Tagesverbrauches sein; aber:

	A = Speicherinhalt in Kubikmeter	B = max. Verbrauch pro Tag in Kubikmeter	Q = A:B
19o6	11 4oo	23 ooo	o,495
1911	11 4oo	4o o7o	o,285

30.3 Einerseits ergab es sich schon, dass das Mannenbergreservoir I in den Hauptverbrauchszeiten {18 - 19^h} sich
31.4 zu entleeren begann und andererseits musste - besonders während den Nachtstunden - Wasser unbenützt in den Worblenbach ausfliessen, da der nötige Speicherraum fehlte. Die vollständige Entleerung hätte für die dem Mannenberg benachbarten Versorgungsgebiete die schlimmsten Störungen in den Druckverhältnissen und der Wasserabgabe zur Folge haben können {==> Boiler verbrennen, Wasserstösse verursachen Rohrbrüche ...}. Auch im Hinblick auf die Landesausstellung 1914 auf dem Vierer- und Neufeld, wo man mit max. 35oo m^3/h Verbrauch rechnete, mussten unbedingt Schritte zur Erweiterung der Wasserversorgung unternommen
1912.6 werden. So entschloss sich die Einwohnergemeinde nach neun Jahren zur Erhöhung des Inhaltes des Reservoirs Mannenberg I um 1o ooo m^3 und zur Erstellung der Stadtleitung II durch die Bolligenstrasse. Wenn es 19o3
29.85 in dem Vortrag des Gemeinderates an den Stadtrat geheissen hat: „Dieses Quantum {min. 1o ooo L/M} wird
1926.1 auf eine lange Reihe von Jahren auch bei starker Zunahme der Bevölkerung genügen", so muss man wissen,
31.4 dass das Reservoir vorläufig als „Durchgangsbehälter" gedacht und dessen Ausbau eingeplant war. Dieses sollte die volle Ausnützung des zufliessenden Wassers gewährleisten. Erstmals wählte man die Bauweise in armiertem Beton, da er „bei gleicher Tragfähigkeit ... wesentlich geringere Dimensionen ermöglicht als gewöhnlicher
31.5 Stampfbeton" und zudem noch billiger war. Das Bedürfnis für die neue Stadtleitung II war gegeben durch die
32.1 Druckverluste in hochgelegenen Häusern der Schosshalde und des oberen Kirchenfeldes; begründet wurde diese Erscheinung durch die hohe Fliessgeschwindigkeit von 18 ooo L/M in der einzigen Zuflussleitung, was einem Reibungsverlust von über 14 m Höhendifferenz pro Kilometer entsprechen soll. Die neue 3,7 km lange Stadt-
1912 leitung II {Durchmesser 55 cm} sollte zudem der Anstalt Waldau erstmals Wasser der Hochdruckversorgung liefern.

Es sei hingewiesen auf die Gründe, die zum Bau der Stadtleitung III bewogen:

α) Es fehlte eine leistungsfähige grosskalibrige Leitung zur Längasse.

β) Das Quartier ist hochgelegen und es entstehen viele hohe Neubauten

32.2 γ) In den Hauptverbrauchsstunden eines heissen Sommers erhielten die höher gelegenen Teile überhaupt kein Wasser mehr; diese liegen 42 m tiefer als der Wasserspiegel beider Reservoire, sodass in sol-

chen Zeiten der Druck für dieses Gefälle durch die Reibungsverluste aufgezehrt werden.

δ) Landi 1914 erfordert eine wirksame Hydrantenanlage, sodass auch die höheren Ausstellungsbauten, mit nur einer Höhendifferenz von siebenundzwanzig Meter zum Mannenberg, vom Wasserstrahl erreicht werden können. Eine Pumpanlage wäre wenig wirksam, denn auch sie erfordert eine grosskalibrige Leitung.

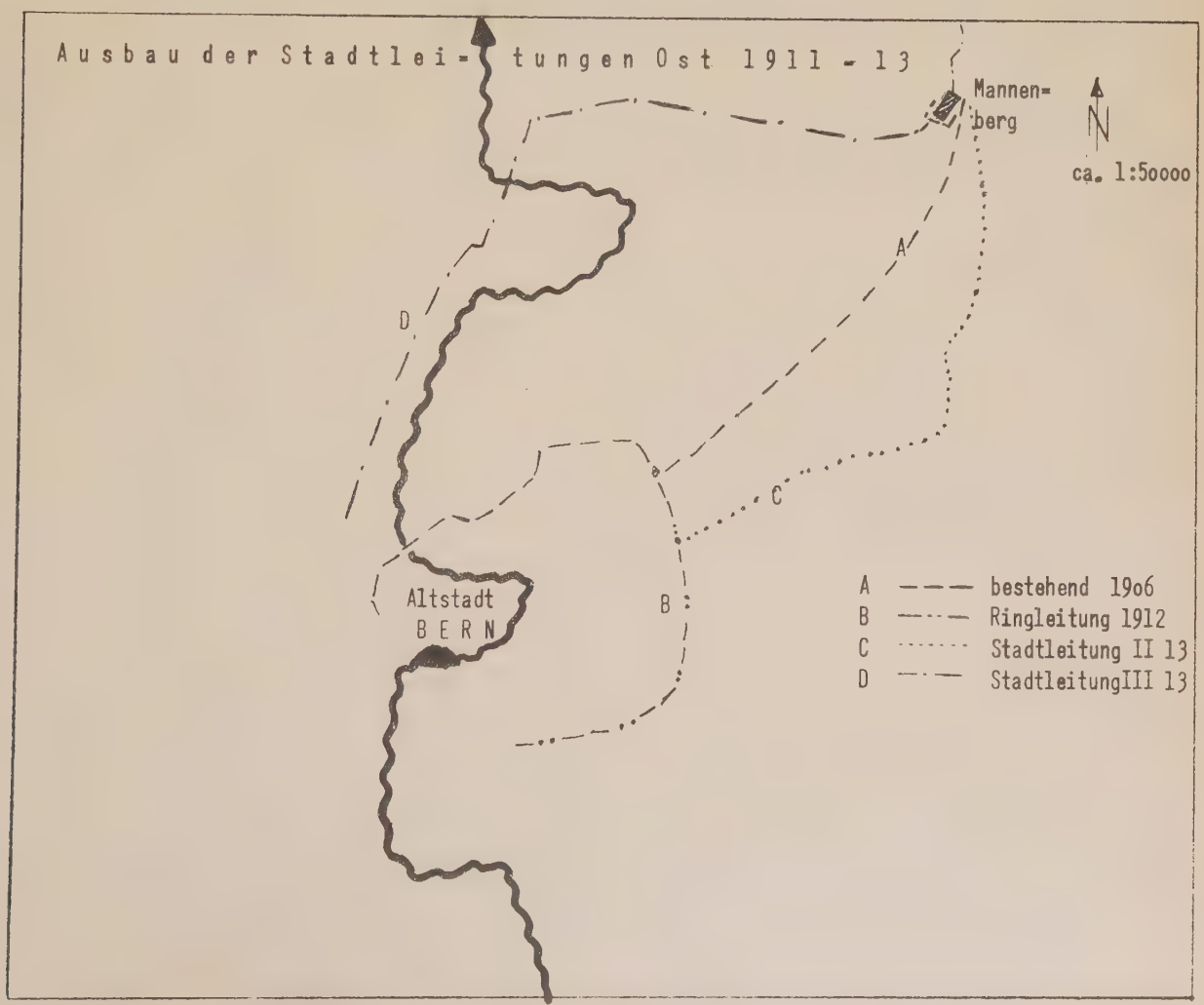
∈) 1913 musste neben dem laufenden Bedarf der Anwohner auch Bauwasser auf das Vierer- und Neufeld geliefert werden.

32.3 ζ) Das Gemeindespital an der Tiefenaustrasse bedurfte einer erstklassigen Wasserversorgung.

32.5 η) Stadtleitung III sollte auf einem eigenen Trasse, unabhängig von den andern, geführt werden; denn es war bei „ihrem bedeutenden inneren Druck von grösster Wichtigkeit, dass nicht der Bruch einer Leitung das Defektwerden einer benachbarten infolge Auspülung des Terrains herbeiführt".

ϑ) Der Leitgedanke des Projektes einer Längassleitung war,zwischen den gegenüberliegenden Reservoiren eine leistungsfähige Rohrverbindung herzustellen, die im wesentlichen unabhängig ist vom Stadtverbrauch. Die endgültige Verbindung sollte später zur Ausführung gelangen.

32.7 Es war ratsam, mit diesen Arbeiten nicht zuzuwarten: die Eisenpreise waren innerhalb eines Jahres um 26,4 % für Fertigprodukte gestiegen. - 1913 War der Bau beendet, für den vorwiegend gusseiserne Hoch-
32.6 druckröhren verwendet worden waren; nur in den Rampenanschüttungen der Tiefenaubrücke und der SBB-Unterführung wurden nahtlos geschweisste, schmiedeiserne Röhren eingelegt.



VI AUSBAU DER SUEDLICHEN QUELLGEBIETE BEZUEGLICH QUALITAET 1911 - 1955

Solange die Stadt genügend Wasser aus dem Emmental beziehen und speichern konnte, wurde das schlechtere Wasser aus den südlichen Gebieten, besonders aus dem Scherlital, abgelassen oder sogar ausgeschaltet. Diese Wasserspender aber vollumfänglich preiszugeben, wäre unklug gewesen. W e s h a l b ?

α) Ihre ganze technische Anlage stellt mit ihrem f r e i ins Hochdruckreservoir fliessenden Wasser ein unabhängiges und wichtiges Glied der Versorgung dar.

41.30 β) Dank der Höhenlage der Quellen verursacht die ältere Versorgung keine erheblichen Kosten; jede neue Fassungsanlage von gleicher Ergiebigkeit würde mit Pumpenarbeit verbunden sein.

γ) Dieser älteste Teil der Hochdruckwasserversorgung ist praktisch abgeschrieben und liefert somit das billigste Wasser.

δ) Da die Quellen- und Durchleitungsrechte erworben waren, besteht auch eine Ableitungspflicht; ansonsten besteht für diese Böden eine Versumpfungsgefahr.

Alle mögliche Arten von Quellen spenden das südliche Wasser. Die Quellen entstanden durch Versickerung von Regen- und Oberflächenwasser im sandig-lehmigen Moränen- und Molassesand; dort wo das Sickerwasser herausquoll, wurden sie gefasst. Die Bodenbedeckung in diesem Gebiet ist sehr verschieden, bald
19.1 Naturwald, bald künstliche Aufforstung, aber zum „grossen Teil Kulturland, das teilweise einer Beschränkung in der Bewirtschaftung unterworfen, an andern Orten aber ungehemmter landwirtschaftlicher Ausnutzung unterliegt". Bei normalen Niederschlagsmengen wird das von der Oberfläche in den Untergrund und zu den Fassungen eindringende Wasser noch hinreichend gut filtriert; bei starkem Wasserandrang aber vermag der erwähnte Untergrund die zugeschwemmten pflanzlichen und tierischen Kleinlebewesen nicht genügend zurückzuhalten.
1918.201 Das Wasser verschiedener Fassungen wurde trüb und schlammig. Bakteriologe und Geologe forschten den Ursachen der Trübung nach und stellten fest:

a) Die Wurzeln verwachsen die Sickerrohre.

b) Das durch den lockeren Grund eindringende Wasser hat nach und nach kleine Sand- und Lehmpartikel
1911.34 losgelöst und feine Kanäle ausgeschwemmt; dadurch verschlechterte sich das Filtrationsvermögen.

Aus diesen Gründen genügte das südliche Wasser den Ansprüchen der Stadtbewohner nicht mehr und verlangte eine gründliche Sanierung. Die Verbesserungsvorschläge gingen in zwei Richtungen:

1919.203 1. Verbesserung und Neulegung der Fassungen.

1920.185 2. Natürliche und künstliche Filteranlage für den gesamten südlichen Zufluss.

Der grundlegende Entscheid, in welcher Weise die notwendige Qualitätserhöhung in wirtschaftlich günstiger Form erzielt werden könnte, war erst nach Abschluss der weitläufigen und zeitraubenden Voruntersuchungen {Sondierbohrungen, Temperatur-, Niederschlags- und Ertragsmessungen, chemische Analysen ...} in
1920.185 a l l e n Gebieten möglich. - Während längerer Zeit beispielsweise wurde Wasser aus der Scherlitalleitung beim Durchqueren des Gaseltälchens über ein offenes Ablagerungsbassin durch die filtrierende Sandschicht geleitet; die „bakteriellen Resultate waren befriedigend, die Leistung der Anlage ging jedoch infolge ziemlich rascher Verstopfung der Poren des Untergrundes bald zurück". - V i e r P r o j e k t e wurden ausgearbeitet:

1921.2o5 . 1. Reinigung des gesamten Wassers durch Sandfilter, d.h. Vorfiltration mit nachfolgender Langsamfiltration.

2. Vorgeschalteter Schnellfilter mit anschliessender Entkeimung durch Ozon.

3. Den natürlichen Untergrund des Gaseltälchens als Filter benutzen.

4. Neuerstellung der Fassungsanlagen in den Quellgebieten unter Auslassung einzelner nicht korrigierbarer und wirtschaftlich nicht verbesserungswürdiger Quellen.

1922.2oo Variante 4 schied wegen zu hohen Kosten, Variante 3 wegen der begrenzten Filtrationsfläche im Gaseltälchen und wegen dessen allzufeinen Sandes aus. - Als die Kunde vom Auslande kam, dass durch die Methode

1925.225 der Sterilisation mit Chlor „selbst künstlich mit Keimen {bact.coli} stark angereichertes Wasser durch einen im Geschmack nicht mehr feststellbaren Zusatz von Chlorgas hinreichend entkeimt werden kann", wurde 1925 versuchsweise eine Lösung getroffen durch Aufstellen einer Chlorierungsanlage nach dem System Dr. Ornstein in einem Aufbau auf dem Reservoir Könizberg. - Was bewog die Fachleute und die Behörde zu diesem System?

α) Es gab zuverlässige Apparate, die für eine gleichmässige Zumischung des Chlorgases sorgten.

β) Die Wirkung des Chlorgases beruht darauf, dass seine Einwirkung auf organische Stoffe Sauerstoff

8.176 freisetzt, der im Augenblick des Entstehens die Bakterien vernichtet. $Cl_2 + H_2O \Rightarrow HOCl + HCl$;

2.91 d.h. die unterchlorige Säure spaltet leicht Sauerstoff ab und zerstört dadurch den fermentativen Stoffwechselapparat der Bakterien.

1925.225 γ) Experimente bestätigten die Desinfektionswirkung eindeutig.

δ) Anschaffung und Unterhalt waren ausserordentlich billig.

1926.248 1926 wurde zur Entkeimung aller südlichen Zuflüsse auch die Leitung von Schwarzenburg zum Reservoir Könizberg III hin umgeleitet. 1927 baute man eine zweite Ornstein'sche Apparatur ein.

Der Chlorierungsvorgang lässt sich wie folgt erklären:

a) Venturiapparat misst die Wassermenge; der Durchfluss wird elektrisch registriert.

b) Die Druckdifferenz im Venturi betätigt ein Membranventil.

c) Dieses reguliert automatisch die Chlorgasabgabe.

d) Letztere erfolgt vor dem Eintritt des Wassers in die eigentliche Wasserkammer.

19.5/6 Höhere Organismen wurden leider nicht abgetötet und die Chlorgasbehandlung war „gegen Organismenbestände von Wasserversorgungen ähnlich der Berneranlage keine ausreichende Waffe, und es bleibt nach besserem zu

193o.3o6 suchen." - Nachdem die Chlorierung einige Jahre anstandslos funktioniert hatte, zeigte sich im Trinkwasser ein unangenehmer muffiger „Apothekergeschmack", namentlich in erwärmten und gekochtem Zustande, der - wie man herausfand - durch Chlorphenol verursacht wurde. Phenole können durch Abwässer von Kokereien, Holzdestillationen, Gaswerken, Oelraffinerien u.a. in das Rohwasser gelangen. Solche Industrien, wie auch teerhaltige Strassen, existierten im Einzugsgebiet nicht. Da Phenole bei der Zersetzung organischer Stoffe entstehen, kamen auch Abwässer von Molkereien und Käsereien in Frage. Die Fernhaltung dieser Abwässer war damals undenkbar, und man versuchte mit oxydativ wirkenden Mitteln diese Nebenerscheinung zu beseitigen:

16.6 α) Zusätze von geringen Mengen Kaliumpermanganat K Mn O_4 ergaben die gewünschte Wirkung, jedoch wurden verschiedentlich Klagen über Verschmutzung der Wäsche laut.

1931.321 2.87 1932.296 β) Erstellung eines kleinen Versuchsfilters mit aktiver Kohle, dessen Ausbau sehr kostspielig gewesen wäre, liess den Schluss zu: wahrscheinlich müsste „eine Filteranlage mit Vorklärung errichtet werden und die chemische Behandlung des für die Versorgung unentbehrlichen Wassers noch weiter ausgebaut werden, um der von empfindlichen Personen als äusserst unangenehm beschriebenen Erscheinung Herr zu werden".

γ) Die Verwendung von Wasserstoffsuperoxyd H_2O_2 bewährte sich nicht, da einerseits der Chlorgehalt
16.7 verdoppelt werden musste und anderseits die Rohrleitungen Rostpartikelchen ausschieden, sodass wiederum das Wasser zu Waschzwecken unbrauchbar wurde.

1933.315 δ) Im März 1932 wurde ein Gewichtsteil Ammoniak und wenige Sekunden später zwei Teile Chlor als Entkeimungsmittel beigegeben, was sich nun bakteriologisch und geschmacklich bewährte.

Diese Ammoniak-Chlor-Sterilisationsmethode ≪ Chloramin ≫ wurde beibehalten von 1932 - 1954, ohne aber die Entwicklung anderer Verfahren im In- und Auslande aus dem Auge zu verlieren. Die Statistik zeigt,
16.1 dass die Chlorbehandlung in jener Zeit das bevorzugteste Entkeimungsverfahren war; 80% des gesamten Trink-
16.2 wasserverbrauchs wurde in der Schweiz um 1940 mit Chlor aufbereitet. Die direkte Einführung von Chlorgas
16.3 wurde allmählich wegen Korrosionserscheinungen verlassen, und man begann flüssiges Chlor zu benützen, das zudem unbegrenzt haltbar ist. Verbesserungen wurden geplant und modernere Methoden geprüft:

16.7 1920 Ozonanlage von Brux in der Tschechoslowakei.

1921 Projektvariante „Schnellfiltrierung und anschliessende Entkeimung durch Ozon" für Könizbergreservoir III; Fachausstellung in Deutschland: Ozonisierung war ca. zwanzigmal teurer als das übliche Verfahren.

1949 Ozonanlage in St. Maur, Paris, sterilisiert 300 000 m^3/d ! - Dort wurde das System „van der Made" und dasjenige der „Compagnie des Eaux et de l'Ozon" verwendet.

1950 Die erste schweizerische Ozonanlage wurde in Füllinstorf (BL) gebaut. Von Bern
16.8 aus äusserte man sich wie folgt: „Mit etwas viel Reklame wurde ein Sterilisierungsverfahren dem grossen Publikum angepriesen (!), das immerhin im Ausland schon mehr als vierzigjährige Nutzanwendung und Betriebserfahrung hinter sich hat. Es gibt in der Technik Fortschritte!"

16.9 Wollte Bern dies auch, so müsste es „im Falle einer Ozonisierung den zehn- bis fünfzehnfachen Preis gegen-
17.3 über der Chlor-Ammoniak- Behandlung" zahlen. Fünf Jahre später allerdings standen die Betriebskosten in Bern nur noch im Verhältnis 5:1; denn unterdessen war man hier auch zur Ozonisierung geschritten!

40.2 Grundsätzliche hygienische Forderungen veranlassten die Wasserversorgung 1937, das Projekt für die Verbesserung der Wasserqualität im Könizbergreservoir III vorzulegen;es war diesmal nicht die Entwicklung der Bevölkerung, sondern:

α) Seit vierzig Jahren im Betrieb.

β) Durch Ammoniak-Chlor-Beigabe konnten die bakteriologischen Gefahren, nicht aber die physischen
4o.6 Veränderungen des Wassers {Trübungen, Geruch, ...} behoben werden.

γ) Neufassung der Quellen und Neulegung der Zuleitungen wären zu teuer gewesen und hätten die Verhältnisse nur momentan gebessert.

4o.2 δ) Im Laufe der Erweiterungen 1879 - 1897 wurde das Reservoir Könizberg richtig gesprochen „verbaut": Zu- und Ableitungen führten teilweise durch Speicherkammern hindurch; Hauptleitungen waren einbetoniert worden und nicht mehr zugänglich; die Sohlenhöhen der Kammern waren ungleich hoch, d.h. wenn die eine Kammer noch ansehnlich Wasser hatte, so floss der abgesunkene Schlamm des Nachbarbeckens in das erstere hinein.

ε) Reservoir III wurde nur auf Abfluss hin gebaut; das kommende Aaretalwerk wird in verbrauchsarmen Zeiten durchs Stadtrohrnetz Wasser ins Reservoir pumpen, womit die Strömungsrichtung umkehrt;
Bericht 1944.32 dann müsste bei den „unvermeidlichen Aufwirbelungen im Leitungsnetz das Wasser nicht nur klar und frei sein von Ablagerungen, sondern auch die erwähnten W a s s e r s ä c k e" beseitigt werden.

ζ) Mit dem Umbau kann zugleich das Speichervolumen vergrössert werden auf 12 7oo m^3.

4o.18 η) „Die ganze Bauanlage bietet für die Arbeitsbeschaffung ein äusserst günstiges Objekt". Sechzig Mann könnten auf der Baustelle für 1 ½ Jahre beschäftigt werden.

ϑ) Wenn das trübe Wasser zum Waschen unbrauchbar war, wie erst dann zum Trinken!

Vorgesehen waren drei neue grosse Doppelwasserkammern, eine Schnellfilteranlage, Chloramindesinfektion und ein Doppeleinfamilienhaus für die Quellaufseher.

- - - - - - - -

4o.13 In der neuen Schnellfiltrieranlage - die 1954 gebaut wurde - fliesst das Wasser (24 ooo m^3/d) im Filterbeet durch eine {o,7 - o,8 m mächtige} gleichmässig gekörnte {o,4 - o,9 mm} Quarzkiesschichtung und durch Düsen {9o Stück pro m^2} in die darunterliegenden Wasserkammern, wobei es kurznachher durch eine
4o.16 genau bemessene Zugabe von (Ammoniak und) Chlor desinfiziert wird. Die Schmutzstoffe bleiben an den Quarzkörnern haften, wodurch aber der Durchflusswiderstand sukzessive wächst. Dieser wird durch eine Sandbeet-
4o.15 reinigung behoben, die durch ein von unten in das Beet gepresstes Luftwassergemisch erfolgt, „wobei der Schlamm sowie überhaupt alle belebte und unbelebte Substanz sich von den einzelnen Kieskörnchen ablöst und durch das Waschwasser weggespült wird ".

- - - - - - - -

4o.22 Für die Entkeimung kamen drei Lösungen in Frage:

1. O z o n
2. E l e k t r o k a t a d y n
3. A m m o n i a k - C h l o r.

Da das zweite Verfahren noch in den Anfängen steckte, musste es vorläufig abgelehnt werden; ebenso die Ozonisierung, die ca. siebenmal teurer zu stehen gekommen wäre als Chloraminbehandlung.

1939.259 1 9 3 9 zogen Experten {Peter und Linder}in einem Gutachten die Schlussfolgerungen:

α) Die Quellgebiete im Süden und im Emmental seien zu erhalten und zu verbessern.

β) Eine Schnellfilteranlage im Reservoir Könizberg sei „unbedingt notwendig".

γ) Der Bau des Aaretalwerkes I, das 25 ooo L/M liefern und bis 196o genügen würde, sei empfohlen.

Gleichzeitig wurde während zwei Jahren im südlichen Reservoir ein kleiner Versuchsfilter mit Erfolg erprobt, um den in diesem Wasser enthaltenen Detritus und Planktongehalt abzusieben. Die Ausführung
1944.359 dieses weitsichtigen Projektes musste wegen Kriegsausbruchs und Materialverknappung unterbleiben bis 1944, als „eine ausführliche Vorlage mit Bericht und Antrag über die Erweiterung der städtischen Wasserversorgung" bei der „Direktion der industriellen Betrieb zuhanden der Behörde und als Grundlage für die Volksabstimmung eingereicht" wurde. 1 9 4 5 genehmogte der Gemeinderat A a r e t a l I u n d K ö n i z b e r g - r e s e r v o i r IV, und am 29./3o. J u n i 1 9 4 6 hiess der Bürger bei einer Stimmbeteiligung von 22% {!} diese 23,25- Millionen Projekte gut !

1 9 4 8 wurde wegen einem Postulat, wo die Befürchtung für die gesundheitsschädigende Wirkung der Chlorierungsanlagen ausgesprochen wurde, ein Gutachten von der Abteilung „Wasserversorgung" der ETH
1949.339 eingeholt, worin geantwortet wurde: „Die Chlordosierungseinrichtungen im Reservoir Könizberg entsprechen den in Europa gebräuchlichen Modellen und ergibt genügende Sicherheit für die Einhaltung der gewünschten Dosis ... Wir sind der Auffassung, dass die Wasserversorgung der Stadt Bern gemäss Schweizerischem Lebensmittelbuch stets ein für den menschlichen Konsum einwandfreies Trinkwasser abgeliefert hat".

Auf dem Gebiete der O z o n i s i e r u n g waren 1951 wesentliche Verbesserungen und Neuerungen bekannt geworden, sodass der Baubeginn bis 1 9 5 2 hinausgeschoben wurde. Die Versuche mit E l e k - t r o k a t a d y n und O z o n zeigten, dass ersteres - auch elektrisches Silberungsverfahren ge-
2.93/94 nannt - für das südliche Wasser ungünstig wäre. Bei diesem Verfahren fliessen keimtötende Silberionen bei Berührung der „Katadynkörper" mit Wasser in die Lösung. Es wird vorausgesetzt, dass das Wasser k l a r ist, da Verunreinigungen die Berührung von Silber und Wasser verhindern würden. Dieses wird dabei in Geschmack, Geruch und Aussehen nicht verändert. Deswegen kam neben der erwähnten Chloraminentkeimung nur noch
17.3 Ozon in Frage. Letztere Lösung wurde unterstützt durch „nicht verstummende trotz sorgfältiger Betriebsüberwachung - eingegangene Reklamationen über Missgeschmack oder schlechten Geruch des Wassers, die offenbar mit der zunehmenden mangelhaften Bodenfiltration im Fassungsgelände im Zusammenhang standen". 1 9 5 3 wurde der „Behörde die Umstellung der Wasserentkeimung v o m C h l o r a u f O z o n v o r g e - schlagen. Im August 1 9 5 5 war der Neubau des Reservoir IV fertig und konnte dem Betrieb übergeben werden.

2.93 Das O z o n i s i e r u n g s v e r f a h r e n beruht darauf, dass Ozon - aktiver Sauerstoff O_3 - sehr rasch tötet. Es muss am Verbrauchsort durch „dunkle Entladung" hochgespannten und hochfrequenten Wechselstroms {WP: 15 ooo V; vdM: 7 6oo V} in getrockneter Luft hergestellt werden. Hierbei wird zunächst unter Energieverbrauch der molekulare Sauerstoff aufgespalten:

$$O_2 + 117{,}2 \text{ kcal} = 2\cdot O.$$

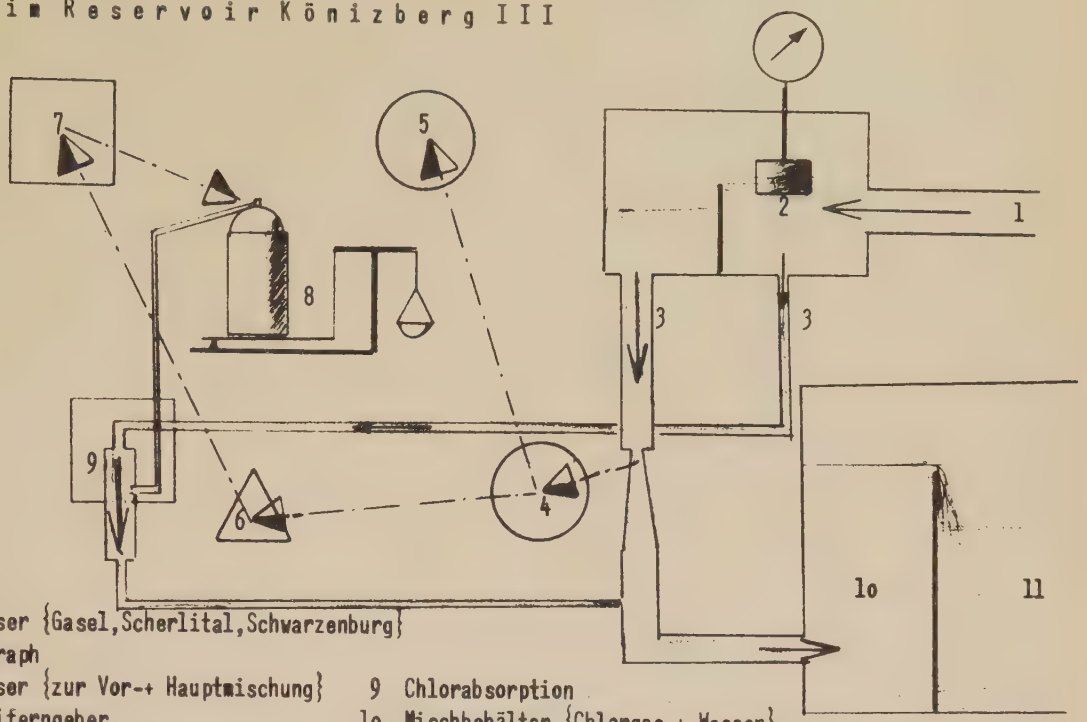
In der zweiten Phase lagern sich die Sauerstoffatome an Sauerstoffmoleküle unter Energieabgabe an:

$$O_2 + 117{,}2 \text{ kcal} = 2\cdot O$$

$$2\cdot O_2 + 2\cdot O = 2\cdot O_3 + 49{,}4 \text{ kcal}$$

$$3\cdot O_2 + 67{,}8 \text{ kcal} = 2\cdot O_3$$

Schema der Ornsteinschen Chlorierungsanlage 1925/26
im Reservoir Könizberg III

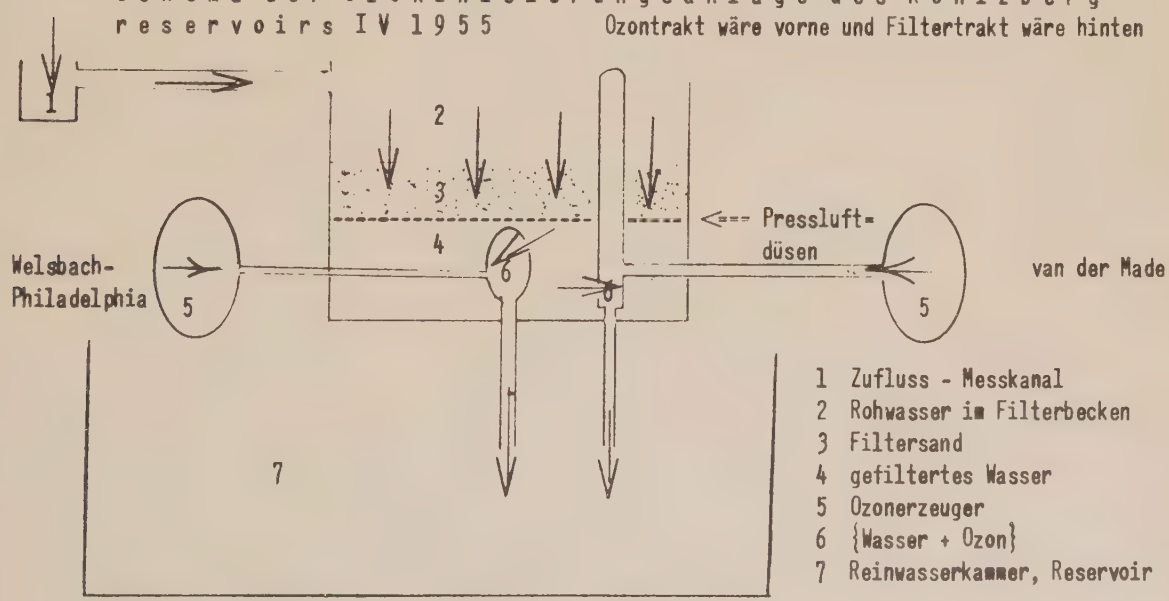


1 Rohwasser {Gasel, Scherlital, Schwarzenburg}
2 Limnigraph
3 Rohwasser {zur Vor-+ Hauptmischung}
4 Venturiferngeber
5 Venturiregistratur
6 Chlormengenregler
7 Chlordosierung
8 Waage mit Chlorgasflasche
9 Chlorabsorption
lo Mischbehälter {Chlorgas + Wasser}
ll Reinwasserkammer, Reservoir

Informationsfluss
Wasserfluss
Mischung {Clorgas + H_2O}
Teilwasserfluss

Schema der Ozoninisierungsanlage des Könizberg-reservoirs IV 1955

Ozontrakt wäre vorne und Filtertrakt wäre hinten



1 Zufluss - Messkanal
2 Rohwasser im Filterbecken
3 Filtersand
4 gefiltertes Wasser
5 Ozonerzeuger
6 {Wasser + Ozon}
7 Reinwasserkammer, Reservoir

Die hierbei entstehende Wärmenergie wird durch Kühlwasser abgeführt und die ozonisierte Luft wird mit Rohwasser möglichst innig gemischt, wobei sie bei Berührung mit oxydierbaren Stoffen ein Atom Sauerstoff abgibt und organische Geruchs- und Färbungsstoffe oxydativ zerstört, während diese durch Chlor vielfach nur verändert werden. Ozon ist somit ein energisch wirkendes Oxydationsmittel, das gegenüber dem Chlorgas den Vorzug hat, keine Geruchs- und Geschmackstoffe zurückzulassen und dass die Ausgangsstoffe {Luft und
17.21 Elektrizität} nicht gespeichert werden müssen. Der Nachteil des Ozons besteht in seiner Unbeständigkeit; es bleibt nicht lange im Wasser erhalten und kann deswegen nicht zur Keimfreihaltung des Rohrnetzes benutzt werden. Schon kurz nach der Inbetriebnahme von Könizberg IV entwickelten sich Bakterienstämme - die zweifellos früher eingeschwemmt worden waren - in gewissen Netzsträngen. Deswegen wird heute noch das Rohrnetz durch eine minimale Chlorbeigabe desinfiziert.

16.8
17.7-11
19-23 Die O z o n b e h a n d l u n g wird durch fünf Phasen charakterisiert:

1. L u f t v o r b e r e i t u n g {CARBA}
   Entstauben; trocknen { 12o m^3/h}; komprimieren; kühlen bis -35°C.
2. S t r o m u m f o r m u n g

Anlage I : Welsbach-Philadelphia	Anlage II: van der Made
Wechselstrom 5o Perioden	Wechselstrom 5oo Perioden
Spannung 15 ooo Volt	Spannung 7 6oo Volt

3. O z o n e r z e u g u n g

Anlage I : 68 Röhren = 17 + 34 + 17	Anlage II: 63 Röhren = 3·(3·7)
324 g/h	57o g/h

4. V e r m i s c h u n g O z o n + W a s s e r

Anlage I : 3 Chlorator Injektoren {66+132+66 m^3/h}
Ozonbeimischung i n d i r e k t; zuerst wird hochkonzentrierte Ozon-Wasser-Mischung erzeugt, welche sich erst beim Eintritt in die eigentliche Reaktionskammer mit dem nicht behandelten Teil im Gegenstromprinzip vermischt.

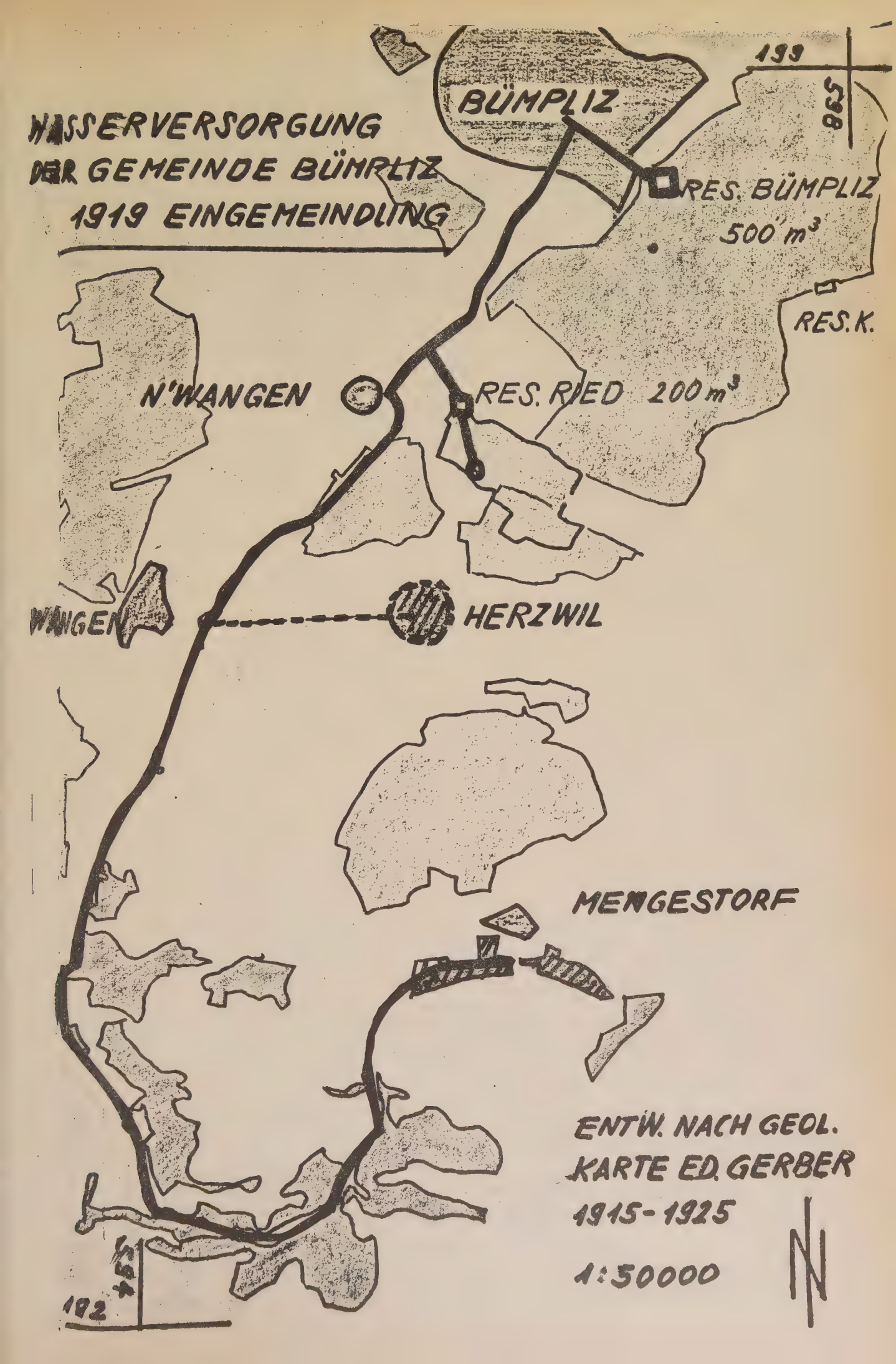
II: 3 Kerag Begaser {25o+25o+25o m^3/h}
Alles Wasser wird d i r e k t und gleichmässig ozonisiert. Das Ozon
17.23 wird durch einen rasch rotierenden Zylinder in die „Turbulenzkammer" gesogen, sodass das durchfliessende Wasser rasch mit Ozon angereichert wird.

5. R e a k t i o n s k a m m e r ... W a s s e r ü b e r l a u f ... R e i n w a s s e r s p e i c h e

17.11 Für Ozongebäude und Filterabteil existieren zwei getrennte Klimaanlagen. Zudem besitzt die Filterhalle eine Deckenheizung zur Lufttrocknung und ein „zusätzliches Wärmeaggregat mit Ventilator". Zur Ueber-
17.15 wachung all dieser verschiedenen maschinellen Anlagen ist ein optisches und akustisches Alarmsystem eingerichtet worden. Der gesamte Melde- und Registrierdienst der bernischen Wasserversorgung konzentriert sich im Pumpwerk S c h ö n a u, wo aus allen drei Fassungsgebieten Meldungen aufgenommen werden über:

a) Zuflüsse b) Abflüsse {Reservoir, Stadtleitungen} c) Reservoirstände

17.24 Im Könizbergreservoir IV wird die dort verbrauchte elektrische Energie für jede maschinelle Einheit gemessen; denn die ganze Anlage trägt den Charakter eines Versuchsobjektes. Trotzdem wird der Kubikmeter Wasser aus den
17.25 südlichen Quellgebieten mit ½ Rappen etwa viermal billiger sein, als derjenige aus dem Aaretal!


WASSERVERSORGUNG
DER GEMEINDE BÜMPLIZ
1919 EINGEMEINDUNG
BÜMPLIZ
199
956
RES. BÜMPLIZ
500 m³
RES. K.
N'WANGEN
RES. RIED 200 m³
WANGEN
HERZWIL
MENGESTORF
ENTW. NACH GEOL.
KARTE ED. GERBER
1915-1925
1:50000
192
454

VII AUSBAU DER EMMENTALWASSERVERSORGUNG 1919 - 1929

Als am 9. September 1 9 o 6 erstmals - nach wochenlanger Wasserknappheit - Emmentalwasser in die Stadt floss, schien die Wasserversorgung auf lange Zeit hin gesichert zu sein; jedoch schon auf die Landesausstellung 1 9 1 4 hin musste das Mannenbergreservoir I vergrössert und die Stadtleitungen II und III erstellt werden, wollte man nicht das Risiko ungenügender Reserve und Druckes eingehen. Erst
1919.2o4 1 9 1 9 begannen Erhebungen für ein Erweiterungsprojekt der Fassungsanlagen in Ramsei. Den Anstoss hierzu dürfte nicht allein der Eingemeindung von Bümpliz am 1. Januar 1919 zuzuschreiben sein; denn hiermit übernahm die städtische Wasserversorgung auch deren Quellgebiete im Ried, bei Herzwil und Mengestorf, die wie die städtische, „bei Niederwasserständen und starkem Konsum überlastet waren"! Dies verwundert keineswegs, muss doch die Einwohnerzahl der Stadt seit den letzten dreizehn Jahren sich um einen Drittel vermehrt haben! Genaue statistische Angaben der Bevölkerungszahl ist wegen der damaligen unzuverlässigen Melde-
192o.223 pflicht der Zu- und Wegzügler nicht möglich: „Nach der Fortschreibung hätte nämlich die Einwohnerzahl 113 333 Personen auf 1. Dezember 192o betragen sollen. Gezählt wurden aber während der Volkszählung bloss 1o3 997" ! - Was bewog die Verantwortlichen zu einem n e u e n P r o j e k t ?

33.1 α) Der mittlere Ertrag der gesamten Fassungsgebiete berechnete sich auf 54 ooo m^3/d. Der Maximalverbrauch erreichte diese Grenze bald:

19o6	23 ooo m^3/d	
1911	4o o7o m^3/d	
1915	41 36o m^3/d	
1918	43 22o m^3/d	
1919	48 49o m^3/d	am 16./17. Juni
1919	51 67o m^3/d	am 2o./21. August

β) Der durchschnittliche Zuwachs der Einwohnerzahl $E_n = E \cdot (1 + p/1oo)^n$ von 185o bis 192o beträgt p = 17,5 Promille.

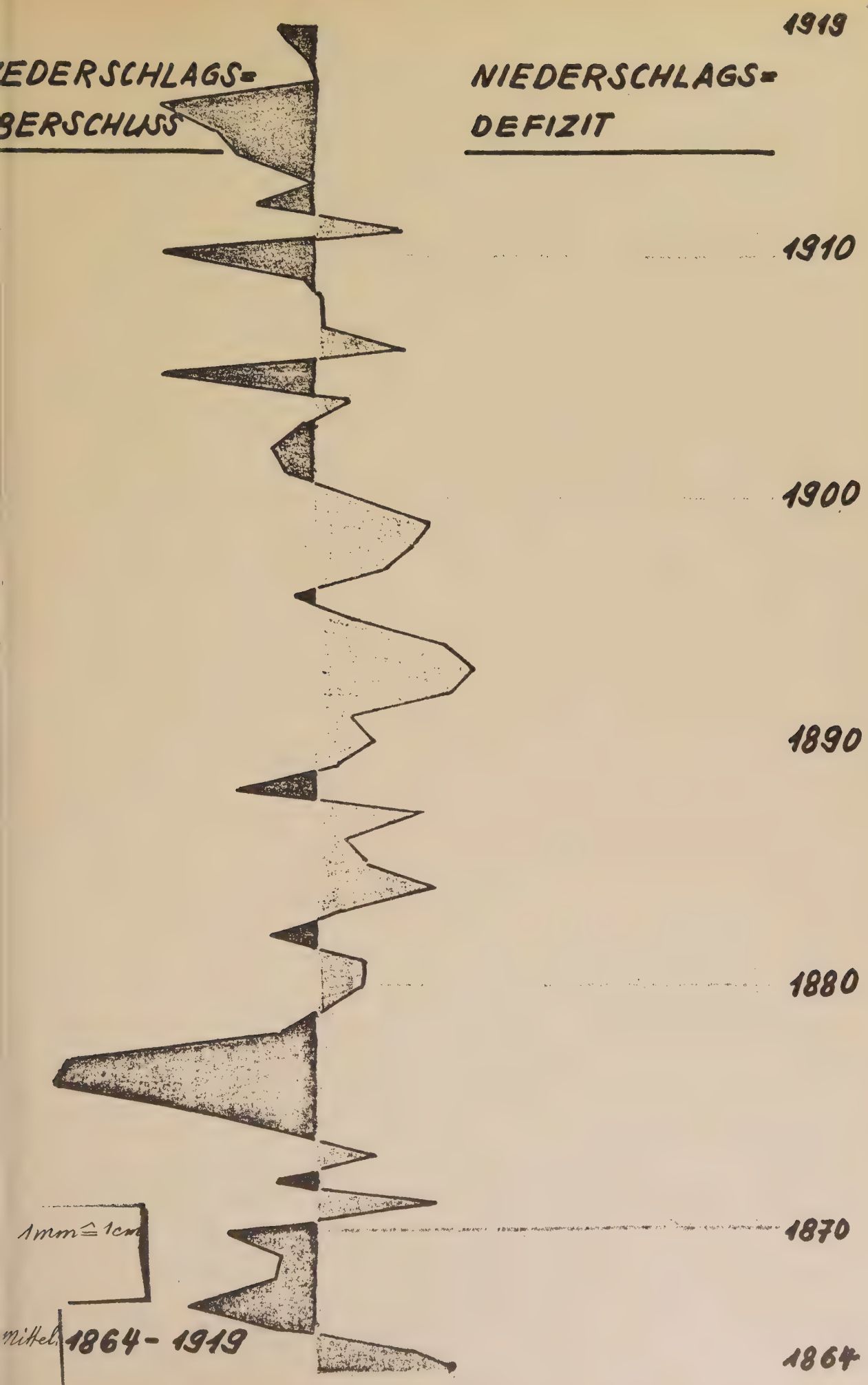
33.2 γ) Die Jahre von 1913 an waren niederschlagsreich; dies könnte ändern, und Bern wäre in der Wasserklemme.

33.6 δ) Die Stadtquellen bedurften dringlich einer Revision; „es ist kein Geheimnis mehr, dass die Qualität des Wassers {besonders das der Winkelmatt} aus diesen Gebieten im Laufe der Zeit derart zurückgegenagen sind, dass die in Frage kommenden Organe eine weitere Verantwortung aus dieser Tatsache nicht mehr übernehmen können".

33.7 ε) Versuche ergaben, dass die Fernleitung 36 ooo m^3/d transportieren könnte { bis anhin durchschnittlich 22 6oo m^3/d}; durch Steigerung des Quellertrages wäre der Wasserbedarf der Stadt für einige Jahre gesichert.

ζ) Die Geschichte der Entwicklung der Wasserversorgung beweist, dass von der Planung bis zur Inbetriebnahme eines Werkes mindestens sechs Jahre verstreichen.

Wie wohl man sich Zeit nehmen muss für solche Untersuchungen und Vorarbeiten, wenn das soziale und politische Moment hineinspielt, zeigt die Geschichte dieser zweiten Etappe der Emmentalwasserversorgung deutlich; das P r o j e k t war in seinen Grundzügen 1 9 2 o b a u r e i f, der Antrag an die Direktion der industriellen Betriebe war erfolgt, im März 1 9 2 1 wurde das G e s u c h dem Regierungsrat z u r


1919
NIEDERSCHLAGS-
DEFIZIT
1910
1900
1890
1880
1870
1864
1 mm ≙ 1 cm
Mittel 1864 - 1919

Konzessionserteilung vorgelegt, aber schon setzten sich die Emmentaler-
43 Rad- und Wasserwerkbesitzer energisch zur Wehr: „Gestützt auf unsere früher ge=
machten praktischen Erfahrungen und Beobachtungen, sind wir der festen Ueberzeugung, dass jede
grössere Wegleitung von Grundwasser aus dem Emmental, wie sie nun neuerdings wieder geplant ist, volks=
37.1 wirtschaftlich eine schwere Schädigung für unsere Gegend bedeutet". - Neben der genannten Genossenschaft
wurde innerhalb der gesetzlichen Frist „Einsprachen erhoben durch die Sod- und Grundwasser=
quellenbesitzer in Schüpbach, die Rechtsamegemeindekorporation Schnetzenschachen, und einigen
35 Wasserwerkbesitzern in Schüpbach". Eine Einigung konnte nicht erzielt werden, sodass eine Expertise angeord=
37.1 net wurde, die im Mai 1925 erschien und Antwort geben sollte auf die Fragen: „Welches ist der vor=
aussichtliche Einfluss ... der Wasserentnahme ... in bezug auf die Wasserführung der Emme, ... auf die Rad=
werke, ... auf die Fischerei, ... auf die bestehenden Brunnen und Wässerungsanlagen? ...". Hat diese eine
„... weitere Absenkung des Grundwasserspiegels zur Folge" und wird „dadurch die Fruchtbarkeit des Bodens ...
35.7 gefährdert"? - Die Experten äusserten sich: „Die Molasse ... setzt sich aus einer Wechsellagerung von
Nagelfluhbänken mit sandigen Mergeln, Mergeln und Sandstein zusammen. ... Sandsteinlagerungen ... und ...
35.8 Nagelfluhbänke ... halten die Wechsellagerung auf viele Kilometer an und geben sich an Gehängen durch Wand=
stufen und flachere Bänder oder Terrassen schon von ferne zu erkennen. F.J. Kaufmann hat eine gelbliche,
gegen hundert Meter mächtige Mergelschicht im obern Emmental besonders hervorgehoben und sie mit seinen
≪Rotseegeschichten≫ in Zusammenhang gebracht. Sie ist bei Neuenschwand und Hubel rechts über der Emme
nachweisbar, steigt mit der Schichtlage gegen NW langsam talwärts und quert das Emmental Aeschau-Ramsei. ...
35.9 Die Mergel ... sind durchwegs undurchlässig, die Nagelfluh kann ... Wasser aufnehmen und zur Quellbildung
Anlass geben ..., ... aber die ... Quelle von Ramsei hat mit Felsenquelle gar
nichts zu tun, sondern ist als eine reine Grundwasserquel=
le {Aufstoss} anzusehen".

35.13 Die Speisung des Grundwassers kann erfolgen durch:

a) Niederschläge über dem Grundwasserträger {Tal},

b) Einfluss versickerter Hangniederschläge,

c) Zufluss durch „die das Tal begleitenden eiszeitlichen Schotterterrassen" ,

35.14 d) Vorfluter kann „Wasser in grosser Menge an das Grundwasser" abgeben.

Wo entstehen Aufstösse?

α) Verengung des Querprofils durch Sporne,

β) Veränderung der Durchlässigkeit,

γ) Zusammenfluss zweier Grundwasserströme,

δ) Abdämmung des Tals durch Moräne.

Der erstere Faktor dürfte für Ramsei die Regel sein; denn die Aufstösse liegen „oberhalb einer deutlichen
35.27 Verengung des Tals" von 55o Meter auf 35o Meter Breite. - Die Emmenkorrektion hatte zu einer kräftigen
Tiefenerosion geführt; die nachgewiesene, sehr bedeutende Sohlenvertiefung - bis zu 2,7 Meter ! - der
35.28 Emme liess den Grundwasserspiegel absinken, sodass einige Quellbäche und Sodbrunnen versiegten. Dieser
Schaden könnte durch deren Vertiefung behoben werden; denn „der Grundwasserstrom ... hat an Stärke nichts
eingebüsst".

Für die projektierte Ableitung nach Bern war von grösster Bedeutung die Kenntnis der Mächtigkeit des Grundwasserstromes. Mittelst der H y p o t h e s e , dass der Durchfluss der Emme durch den Molassefelsen, durch das sogenannte R ä b l o c h , frei von unterirdischem Abfluss sei, konnte die Mächtigkeit im Jahre 1 9 1 9 berechnet werden. Die Versuchsanordnung war folgende:

a) Die Emme fliesst unterhalb Schangnau im Räbloch in einer Schlucht durch den anstehenden Felsen; dies ermöglichte die Messung des Gesamtwassers, d.h. der Summe aus oberirdischem und unterirdischem Abfluss.

b) Oberhalb Eggiwil konnte nur auf den oberirdischen Abfluss des Röthenbach geschlossen werden.

c) Bei der Horberenbrücke und bei Ramsei wurde der Abfluss der Emme - Röthenbach inbegriffen - bestimmt.

Die M e s s d a t e n hiessen:

	22. 8. 19	11.11.2o	oder L/ km^2 des Einzugsgebietes
- Räbloch	288	2o5	3,14
- Röthenbach	126	1oo	2,44
- Horberenbrücke	194	5	1.o1
- Ramsei	26o	34	1,32

S c h l u s s f o l g e r u n g e n 1 9 2 o :

1. Im Räbloch ist die Wassermenge am grössten !
2. Emmenabwärts {bei doppeltem Einzugsgebiet!} ist der Abfluss kleiner!
3. Bei Ramsei wird eine beträchtliche Abflussvermehrung gegenüber der Horberenbrücke festgestellt.
4. Demnach muss „ein ganz namhafter Betrag des Emmenwassers in seinen Alluvionen infiltriert" werden.
5. Man kann annehmen, „dass in dem Grundwasserstrom bei Aeschau 35o bis 4oo L/s" durchfliessen d.h. 21 bis 24 m^3/M.

Die Experten mussten, da sie selber ausdrücklich sagten, dass „die Ableitung von Grundwasser ... selbstredend einen bleibenden Entzug von Wasser aus dem Talsystem" bedeutet, die Mächtigkeit des Grundwasservorkommens abschätzten. Aus obigen Daten schliessen sie:

35.45 α) Minimaler (Abfluss und Grundwasser) pro Flächeneinheit = 2 L/km^{2}s;
Einzugsgebiet Räbloch = 197,5 km^2 ;
Minimaler Gesamtabfluss = $\frac{A + GW}{Fläche}$ · Fläche = 2·197,5 = 395 L/s ;

β) Da bei Horberenbrücke 5 L/s gemessen wurden, mussten 39o L/s versickern; d.h. die Stärke des Grundwasserstromes beträgt bei Horben 3 9 0 L / s .

35.46 γ) Der Ertrag des seitlich, unter den Talböden in das Schotterfeld einfliessenden Wassers, wird auf loo L/s geschätzt.

δ) Insgesamt: (39o + loo)L/s = 4 9 o L / s o d e r 2 9 , 4 m^3/M.

∈) Diese Berechnung fusst auf der Ansicht, dass zwischen Emme und Grundwasser eine enge K o m m u n i k a t i o n besteht, was die Experten nachwiesen durch sichtbare Einsickerungen {nach dem Räbloch..} und durch zeitlich verschobene Spiegelschwankungen. „F l u s s - u n d G r u n d w a s s e r b i l d e n e i n e i n h e i t l i c h e s G a n z e s".

35.18/19

35.27

Wir ersehen, dass zwischen den Gutachten von 1 9 o 3 und 1 9 2 5 Differenzen bestehen:

1 9 o 3	1 9 2 5
A) Quellen werden gespiesen durch Niederschläge, die auf einer Molasse- und Mergelschicht abgeleitet werden. Deshalb „Felsenquelle!"	A) Der Talschotter erreicht eine Mächtigkeit bis 3o Meter! Das darin fliessende Grundwasser wird gespiesen durch Niederschläge im Tal und Einzugsgebiet, durch Grundwasser der Seitentäler und durch Infiltration des Vorfluters.
B) Grundwasser ist unabhängig von der Emme wie die Färbversuche bewiesen haben!	B) Grundwasser ist abhängig von der Emme!

Wegen der Kommunikation Emme-Grundwasser ist es verständlich, dass die Bauern und Radwerkbesitzer entrüstet Einsprache erhoben, obschon das Gutachten von 1 9 2 5 hervorhob, dass

35.8o α) von Emmenmatt weg kein merkliches Wasserdefizit festzustellen sein wird, umsomehr die Winkelmattquellen wieder der Emme zufliessen;

35.66 β) der jährliche Ausfall der Radwerkenergie 2o 483 Pferdekraftstunden betrage, der aber mit vermehrtem Strombezug gedeckt werden kann {Jahresentschädigung sollte nach Expertenbericht für alle Werke zusammen 184o Franken betragen, am 27. Mai 1927 bot dann Bern eine Entschädigung von 35 ooo Franken an};

γ) der „Einfluss auf die Fischerei praktisch unbedeutend" sei und

δ) das Versiegen der Sodbrunnen auf die S o h l e n v e r t i e f u n g der Emme, die nach deren Korrektion erfolgte, zurückzuführen sei. „Für diese Schädigungen {Sodbrunnen, Radwerke} die Abzapfung des Grundwassers in der Aeschau verantwortlich zu machen, ist eine gänzlich unhaltbare Auffassung, die den natürlichen, auf der Hand liegenden Umständen nicht Rechnung trägt"!

Dies gelesen, schreibt die „Genossenschaft der Radwerk- und Brunnenbesitzer an der Emme" postwendend der Berner Regierung: „Das Gutachten ... ist durchaus nicht zu unserer Befriedigung ausgefallen. Es kommt zum Ergebnis, dass gegen kleine Entschädigung an die Wasserwerkbesitzer, der Stadt Bern die neue Grundwasser ... Wegleitung gestattet werden könne ... Denn trotz den wissenschaftlichen Berechnungen und theoretisch s c h ö n e n Auseinandersetzungen und Hypothesen des Gutachtens sind wir ..." von der volkswirtschaftlichen Schädigung überzeugt. „... Mit lächerlich kleinen Entschädigungen an die Wasserwerkbesitzer können wir uns nicht abfertigen lassen. Denn der drohende, dauernde Schaden, der überhaupt nicht mit Geld wieder gut gemacht werden kann, trifft nicht nur die Wasserwerkbesitzer, sondern namentlich die ganze Landwirtschaft und deshalb erachten wir es als unsere Pflicht, alle interessierten Gemeinden, Korporationen und Privaten des Emmentals auf die drohende Gefahr aufmerksam zu machen. Diese kann nur noch abgewendet werden, wenn sich die ganze Bevölkerung der Talschaft einmütig erhebt und lauten Protest einlegt gegen die geplante Anzapfung unseres Grundwassers, von dem die Fruchtbarkeit und Wohlfahrt des Tales in so hohem Masse abhängt. Eine machtvolle Kundgebung des ganzen Landesteils wird, wie wir hoffen, ihre Wirkung auf den Entscheid der Regierung nicht verfehlen. - Wir ersuchen Sie daher, einen Vertreter für eine auf den nächsten Donnerstag, den 3o. Juli nachmittags 2½ Uhr im Hotel Guggisberg in Burgdorf stattfindende allgemeine P r o t e s t v e r s a m m l u n g zu bezeichnen und ... ... ".

Gegen solche P r o t e s t v e r s a m m l u n g e n mussten natürlich auch A u f k l ä r u n g s =
45.1 v o r t r ä g e seitens Bern gehalten werden, die meist ein satirisches Echo fanden: „... wir müssen offen gestehen, dass der rein theoretische Exkurs von Herrn Nationalrat ..., welcher einer abstrakten wissenschaftlichen Abhandlung verzweifelt ähnlich aussieht, uns in keiner Weise befriedigt hat. Wir vermissen darin namentlich die Beantwortung praktischer Fragen ...". „Auf der natürlichen Grundlage der geologischen und hydrolo=
45.2 gischen Struktur des Emmentals ist schliesslich dessen ganze landwirtschaftliche, gewerbliche und industrielle Entwicklung aufgebaut, und es geht nicht an, diese natürliche Kulturgrundlage einer ganzen blühenden Talschaft anzutasten ... . Eine solche willkürliche, allzuweit gehende Korrektur des natürlichen Schöpfungsplanes müsste in der davon betroffenen Talschaft einen Sturm der Entrüstung auslösen, der gewiss auch nicht ohne weittragende politische Folgen bleiben und einen neuen tiefen Graben zwischen Stadt und Land aufwerfen würde".

Nach diesem mühsamen Hin und Her bewilligte der Regierungsrat am 23. April 1 9 2 6 das Projekt unter der H a u p t b e d i n g u n g , dass die bestehende Leitung E m m e n m a t t = M a n n e n b e r g
37.3 n i c h t e r w e i t e r t werden darf; diese sollte mit i h r e m F a s s u n g s v e r m ö g e n das „M a x i m a l q u a n t u m d e s a b z u l e i t e n d e n W a s s e r s" angegeben. - Nach der Konzessionserteilung des Regierungsrates, die nach der Abklärung der über hundert Einsprachen erfolgte, konnte der Neubau der Fassungen Ramsei - unter Beibehaltung der alten Fernleitung - begonnen werden. Fassen wir rückblickend die gesamten V o r a r b e i t e n zusammen:

2.242 a) Transportvermögen der Fernleitung? Das Ersetzen von alten Leitungen schuf die Möglichkeit durch Versuche die Durchflussgeschwindigkeit, den Rauhigkeitsbeiwert {verursacht durch die Abnützung
12.38/39 der Rohrinnenwandung} und die Fördermenge zu bestimmen. Es ergab sich, dass die 21 km messende Zementrohrleitung und die 8 km langen Gussleitungen in sehr gutem Zustande waren, obgleich sie
12.9 schon über 2o Jahre im Gebrauch stunden. Die Verdoppelung eines ein Kilometer langen Zwischenstückes nach Schüpbach sicherte die zu erwartenden 25 m^3/M vollends.

b) Die gewöhnlichen Voruntersuchungen, um die Güte des Quellergusses festzustellen, umfassten:
12.5/6
- Aufstellen und Ablesen von Beobachtungsrohren und Limnigraphen
- Messungen der Wassertemperatur
- Härtebestimmungen
- chemische und bakteriologische Analysen
- geologische Gutachten von Kissling, das ergänzt und berichtigt wurde durch die Expertise vom Mai 1925.

192o. 39.5 c) Die Keimvermehrung {besonders im Jahre 192o} wurde einerseits zurückgeführt auf die ungenügende Fassungstiefe von nur 2½ bis 3 Meter unter Flur in der Winkelmatt, die durch die hohe Lage der Molasse bedingt ist, sodass sich Grundwasser mit oberflächlichen Infiltrationen vermischen konnte.

d) Das Hauptproblem bestund in der Frage nach der Grösse des Grundwasserflusses. Die geologischen und hydrologischen Ergebnisse datieren wie folgt:

29.8o 1 9 o 3 Kissling meint, dass das Sickerwasser auf der bei Ramsei ins Haupttal fallenden Mergelzone abfliessen, um „an der Grenze mit dem Schuttboden als Quellen auszutreten".

12.8 1 9 1 8 wird durch Hug eine neue Auffassung dargelegt, die besagt, dass neben dem oberirdisch abfliessenden Wasser noch eine unterirdische Wasserströmung existiere, die je nach Art und Grösse des Talquerschnittes stark variieren kann. Motiv des Aufstosses sei die Verengung des Talquerschnittes.

35.9 1 9 2 5 erklären die Experten mit allem Nachdruck: „Die Quellen im Talboden des obern Emmental haben mit Felsquellen gar nichts zu tun, sondern sind ... als reine Grundwasserquellen anzusehen.

33.9 1 9 2 o wurde die R ä b l o c h - R e c h n u n g durchgeführt, die eine minimale Grundwassermenge von 21 - 24 m^3/M ergab. Die Experten addierten {1925} hierzu noch 6 m^3/M,

35.46 die von den seitlichen Grundwasser stammen sollen; Gesamtmenge ca. 29,4 m^3/M.

1 9 2 1 Resultate der S o n d i e r b o h r u n g e n :

12.12 - die alte Erosionsrinne verläuft 13 bis 33 Meter unter dem Talboden;

12.13 - das Fördergut „ist identisch mit dem Geschiebematerial des heutigen Emmebettes. ... Einzelne Lagen scheinen zudem verkittet zu sein. ... Als Gerölle überwiegen Quarzite und Granite der Nagelfluh; in abwechselnder Menge kommen dazu Sandsteine und Kalke aus Kreide und Tertiär des Alpenrandes ...";

1 9 2 1 entnahm ein 12,5 Meter tiefer Versuchsbrunnen {Schacht} mittels einer Heberleitung 6ooo L/M. Feststellungen:

12.14 - in loo Meter Abstand vom Vorfluter schwankt das Grundwasser um „nur noch einzelne Dezimeter";

12.15 - die Limnigraphen in der Emme, im Grundwasser und im Versuchsbrunnen zeichneten stark verwandte Wasserspiegelschwankungen auf. Der Brunnen hatte von der Emme einen Abstand von 16o Metern.

12.16 - die Temperaturdifferenzen verringern sich im Grundwasser, je mehr wir uns von der

12.19 Emme entfernen; es wurde demnach von der Emme ins Grundwasser im S o m m e r e i n T e m p e r a t u r g e f ä l l e u n d i m W i n t e r e i n T e m p e r a t u r a n s t i e g b e o b a c h t e t.

1 9 2 1 Da zwischen Emme und Grundwasser eine Verbundenheit besteht, muss der Boden wasserdurchlässig sein; hierbei interessierte die I n f i l t r a t i o n s g e s c h w i n d i g k e i t. Zu ihrer Bestimmung kamen fünf verschiedene Methoden zur Anwendung:

12.22 α Aufzeichnungen der e l e k t r i s c h e n L e i t f ä h i g k e i t in der mutmasslichen Strömungsrichtung; k e i n R e s u l t a t.

β Eine zusätzliche k ü n s t l i c h e V e r s a l z u n g blien ebenso erfolglos.

γ Ein Vergleich der Aenderung des chemischen und bakteriologischen Gehaltes führte nicht zum Ziel.

12.23 δ B i o l o g i s c h e s E x p e r i m e n t : Kieselalgen werden in der Emme abgeschwemmt und nach ca. drei Tagen i m V e r s u c h s b r u n n e n f e s t g e s t e l l t.

∈ Der Scheitel der Hochwasserwelle in der Emme und dem dadurch verursachten Temperaturanstieg im Brunnen lagen ca. zwei Tage auseinander.

12.24 Dass die Hochdruckwasserwelle für diese Strecke von 16o Meter nur ca. sechs Stunden benötigt hatte, hing wahrscheinlich mit einem hydrostatischen Druckausgleich zusammen.

Resultate ad δ: 16o m in 3 Tagen ==> 5o m/d;

ad ∈: 16o m in 2 Tagen ==> 8o m/d;

====> Fliessgeschwindigkeit des Grundwassers ca. 5o bis 8o m/d.

Zur Beantwortung der Frage nach der Durchflussmenge sind demnach folgende Daten wichtig:

1. Querschnittsfläche der grundwasserführenden Talfüllung: $A = (15 \cdot 2oo)\ m^2$;
2. Fliessgeschwindigkeit v = 5o bis 8o m/d;
3. Porosität des Untergrundes p = 15 bis 2o% max.;

woraus sich die Menge Q errechnen lässt:

4. $Q = \frac{A \cdot v \cdot p}{144o} = \frac{15 \cdot 2oo \cdot 7o \cdot 2o}{144o} = 3o\ m^3/d$ {approx.}; zum Vergleich hatte die
5. Räbloch-Rechnung damals ergeben: 29,4 m^3/d !

2.55 Betrachten wir nun kurz den Ausbau II der Emmentalwasserversorgung nach 1929: Die Brunnen-Anlage wurde parallel der Flusslinie verlegt, also mit der

12.24 Grundwasserströmung, weil nach den Pumpversuchen „namhafte Mengen uferfiltriertes Flusswasser ..., zu Tage gefördert" wurden. Abweichend vom Projekt genügten nunmehr acht Brunnen im Abstande von achtzig Meter; sie wurden pneumatisch abgesenkt. Dieses Verfahren hat den Vorzug, dass es Aufschluss gibt über den durchfahrenen

12.25 Boden und über die Eignung der Bodenschichten für die Wasserentnahme.

12.24 Daten: Schneidendurchmesser 3,2 m; lichte Brunnenweite 2,o m; Wandung o,3 m; Tiefe 12 - 16 m;

12.26 lichte Saugrohrweite o,3 m.

8.97 Da die Wandung praktisch wasserundurchlässig ist, erfolgt der Wassereintritt beim Schachtbrunnen {früher waren es Sickerrohre} lediglich von der Sohle her; um zu verhindern, dass durch die Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers Sand mitgerissen wurde, ist die Schachtbrunnensohle entsprechend gross und durch Kiesstützschichten

12.28 gegen Sandeintrieb gesichert worden. Je vier Brunnen, die mit einer horizontalen gusseisernen Heberleitung verbunden sind, bilden eine Gruppe.

Heberprinzip:

a) Der Wasserspiegel muss im Sammelgebäude tiefer liegen als im Schachtbrunnen.

b) Vor Inbetriebnahme wird die Heberleitung mit Wasser angefüllt und entlüftet;

c) das, dem natürlichen Gefälle nach abfliessende Wasser, saugt oder hebt dasjenige im Schachtbrunnen nach, und die Grundwasserförderung beginnt.

Da die Heberröhren vollkommen horizontal verlaufen, urspr. wurden sie steigend gebaut wegen der Entlüftung, hie und da nun sogar fallend!, wurden mehrere sich verengende Vertikalrohre - sog. Fallheber - eingemontiert, die zufolge der grösseren Fallgeschwindigkeit die Luft {ca. 8 bis lo %} in den neuen horizontalen Strang hinabreissen, die erst im Sammelgebäude gleichzeitig mit dem Wasser ausgestossen wird. Die Fallheber sind nach Lindley in zwei Fallröhren von verschiedenem Durchmesser gegabelt und mit

Schiebern versehen, die je nach der abzuführenden Menge eingestellt werden müssen! Diese Einrichtung bewährte sich gut, hat aber den Nachteil, dass sie nicht automatisch funktioniert. Dieses Problem wurde später im Aaretal weiter studiert, und man fand die Lösung in drei verschieden hoch gelegenen Fallröhren derart, dass bei steigender Abflussmenge stufenweise mehr Querschnitt zur Verfügung steht und dass die Wirkung der Fallheber {Luft in den nächsten Strang hinunterzureissen} nicht geschmälert wird. Dies jedoch erst zwanzig Jahre später!

12.3o Jede Heberleitung im Emmental führt in ihren Sammelschacht, der kommunizierend mit der Regulierkammer verbunden ist. Dort lässt sich die Wassermenge von 0 bis 15ooo L/M einstellen, auch wenn sich die
12.31 Grundwasserhöhe verändert; denn das der Regulierkammer zufliessende Wasser muss durch Ueberfallschlitze im Teleskoprohr {das an einem verstellbaren Schwimmer hängt} zum Abfluss kommen. Dieser selbsttätige Ausgleich der Ertragsmengen wurde dem unstetigen Charakter der Emme angepasst, da nicht nur Hoch- und Niederwasser stark
12.33 variieren, sondern auch die Flussohle; „Kolkstellen und anschliessende Geschiebebänke weisen bis 1,5 Meter Höhendifferenz auf".

12.4 Schon acht Monate nach Baubeginn, am 27. Juli 1927, floss das neu gewonnene Wasser in die Bundesstadt, und Ende 1928 war der stark umstrittene Ausbau II im Emmental beendet.

VIII BERN SUCHT NEUE KRÄFTIGE WASSERSPENDER 1916-1931

Trotz allen Verheissungen, die jeweils in den Botschaften des Gemeinderates an den Stadtrat bei der Projektierung einer neuen Wassergewinnungsanlage ausgesprochen wurden, kamen die planenden Ingenieure nicht zur Ruhe. „Wasser ist zum Waschen da, falleri, fallera ..." ist kein besänftigendes Liedchen für die Leute, die später die Verantwortung zu tragen haben, wenn sie zur Rechenschaft gezogen werden sollten. Sie können nie zu früh Ausschau halten nach neuen Wasservorkommen und die Folgen des dauernden Wasserentzuges aus solchen Fassunsgebieten wirtschaftlich, sozial und politisch s o abzuwägen, dass in der Bilanz dasjenige Projekt gefunden wird, das einer wachsenden Stadt führ mehrere Jahrzehnte die Sorge genügenden Wassers nimmt.

Die Pause, die entstund zwischen der Vergrösserung des Reservoirs Mannenberg II bis zum Ausbau der Emmentalwasserversorgung II von 1914 - 1919, diente diesem rastlosen Forschen nach einer idealen Quelle, die etwa folgenden Bedingungen Genüge leisten sollte:

13.12 - genügend gutes Trinkwasser für einige Jahrzehnte,

21.11 - ausbaufähig,

- geringe Betriebskosten,
- minimale Wartung und Bedienung.

In Bern durfte nicht allein mit dem Bevölkerungszuwachs der Stadt gerechnet werden, sondern die Verhältnisse der Aussengemeinden liessen darauf schliessen, dass dort die Lage ebensobald sanierungsbedürftig werden musste. Die Eingemeindung von Bümpliz 1919 brachte in dieser Hinsicht eine Bürde für die Stadt. Der Charakter der Stadt änderte sich auch deswegen, weil mit zunehmender Geschäfts- und Verwaltungsentwicklung der Wohnsitz der Angestellten, somit auch Konsumenten der Wasserversorgung, in die Nachbargemeinden zu verlagern begann {tagsüber weilten diese Leute in der Stadt und halfen auch das Wasser verbrauchen}, weswegen dann auch die Verbrauchsmenge auf Konto der sesshaften Einwohner stieg. Es zeigte sich bald mehr bei einer solchen funktionelen städtebaulichen Umordnung, dass es nicht mehr angängig war, bei der Beurteilung der Bedürfnisfrage abzustellen auf die Zahl des Wasserverbrauchs pro Einwohner. Später {1929-31} bestätigten sich diese Ueberlegungen:

39.2 α) Die Wasserversorgungsanlagen der Aussengemeinden waren ungenügend.

β) Muri und Köniz bezogen ein grosses Wasserquantum aus der Stadt.

γ) Bremgarten hatte sich unterdessen an das städtische Leitungsnetz angeschlossen.

δ) Die Wasserversorgungen von Zollikofen und Ostermundigen hatten ihre Leistungsfähigkeit erreicht.

39.2 ∈) Ihre Wasserqualität liess bald sehr zu wünschen übrig.

Bis zum Jahre 1931 zeichneten sich folgende neue Wassergewinnungsmöglichkeiten für die Bundesstadt ab:

39.6 Anlagen unter 25ooo L/M:

a) Wangental {Stadtbach bei Oberwangen}, Höhenlage 58o m ü M, ~ 3ooo bis 5ooo L/M gutes Quellwasser. Einführung ins Reservoir Könizberg, Pumpanlage. Der Stadtbach ist Eigentum der Gemeinde Bern; die Folgen einer Ableitung für die Wasserversorgung sind nicht abgeklärt.

b) Saanetal. Grundwasser im Gebiet von Laupen-Gümmenen; Höhenlage 475 m ü M; geringe Mächtigkeit des Grundwasserträgers, beschränkte Wassermenge; Einführung ins Reservoir Könizberg, Pumpanlage.

c) S e n s e t a l oberhalb Strassenbrücke Thörishaus-Flamatt; Höhenlage 545 m ü M; beschränktes Grundwasservorkommen in zum Teil feinkörnigem und wenig durchlässigem Material. Einführung ins Reservoir Könizberg, Pumpanlage.

d) S t a u a n l a g e S e n s e u n d S c h w a r z w a s s e r; Höhenlage 58o m ü M. Ungünstiger Baugrund für den Staudamm, kleines Einzugsgebiet; Einführung ins Reservoir Könizberg durch vorhandene Freileitung; verhältnismässig grosser Landerwerb erforderlich; keine Erweiterungsmöglichkeit.

e) H o f m a t t q u e l l e n bei Alterswil (Gotterontälchen im Kanton Freiburg); Höhenlage 715m; ~ 4ooo bis 6ooo L/M. Inzwischen für die Stadt Freiburg gefasst.

f) S c h w a r z s e e (Kanton Freiburg); Höhenlage 1o5o m ü M; Freifalleitung, Einführung ins Reservoir Könizberg. Bedingung: Seeaufstau und damit Auflassung des Kurortes. Bewilligung zur Ableitung fraglich.

g) S t o c k e n s e e ; Höhenlage 735 m ü M; Freifalleitung in ein Reservoir am Gurtenhang. In Verbindung mit der seinerzeit geplanten Kraftanlage; Seeinhalt unzureichend; Entwertung der Energie bei Wasserbenutzung vorwiegend im Sommer.

h) K a n d e r t a l bei Reichenbach; Höhenlage 715 m ü M; ursprünglich ~2o ooo L/M. 47 km lange Ableitung. Inzwischen für die Pulverfabrik Wimmis gefasst.

A n l a g e n ü b e r 25ooo L / M :

A) Unteres E m m e n t a l (unterhalb Kirchberg); Höhenlage 49o m ü M; Einführung ins Reservoir Mannenberg über Pumpanlage. Eventuell Einspruch der flussabwärts an der Emme liegenden Industrie zu gewärtigen.

B) M i t t l e r e s E m m e n t a l (zwischen Hasle und Oberburg); Höhenlage 565 m ü M; separate Leitung ins Reservoir Mennenberg über Pumpanlage.

C) O b e r e s E m m e n t a l (bei der Horbenbrücke zwischen Aeschau und Eggiwil); Höhenlage 715m; Freifalleitung über Grosshöchstetten-Worb zu einem Reservoir am Ostermundigenberg.

Die beiden letztgenannten nur in Verbindung mit einer Stauanlage im Rebloch zur Regulierung der Niederwasserstände der Emme. Einspruch der Talschaft gegen erneute Wasserableitung aus dem Emmen- ins Aaregebiet zu gewärtigen.

D) T h u n e r s e e ; Höhenlage 56o m ü M. Als unerschöpfliches Wasserreservoir, ideal ausbaufähig. Wahl einer Fassungsstelle im untern Seebecken infolge Sandführung und Trübung durch die Kander und den Ablauf des Kanderwerks befriedigt nicht; die künstliche Aufbereitung des Seewassers {Filtration und Entkeimung} ist absolut erforderlich. Die natürliche Filtration in einem geeigneten Grundwasserträger ist der künstlichen unbestreitbar überlegen; Deshalb vermag das Projekt mit dem Grundwasserwerk bei Uttigen nicht in Wettbewerb zu treten; hierzu kommt noch die längere Ableitung.

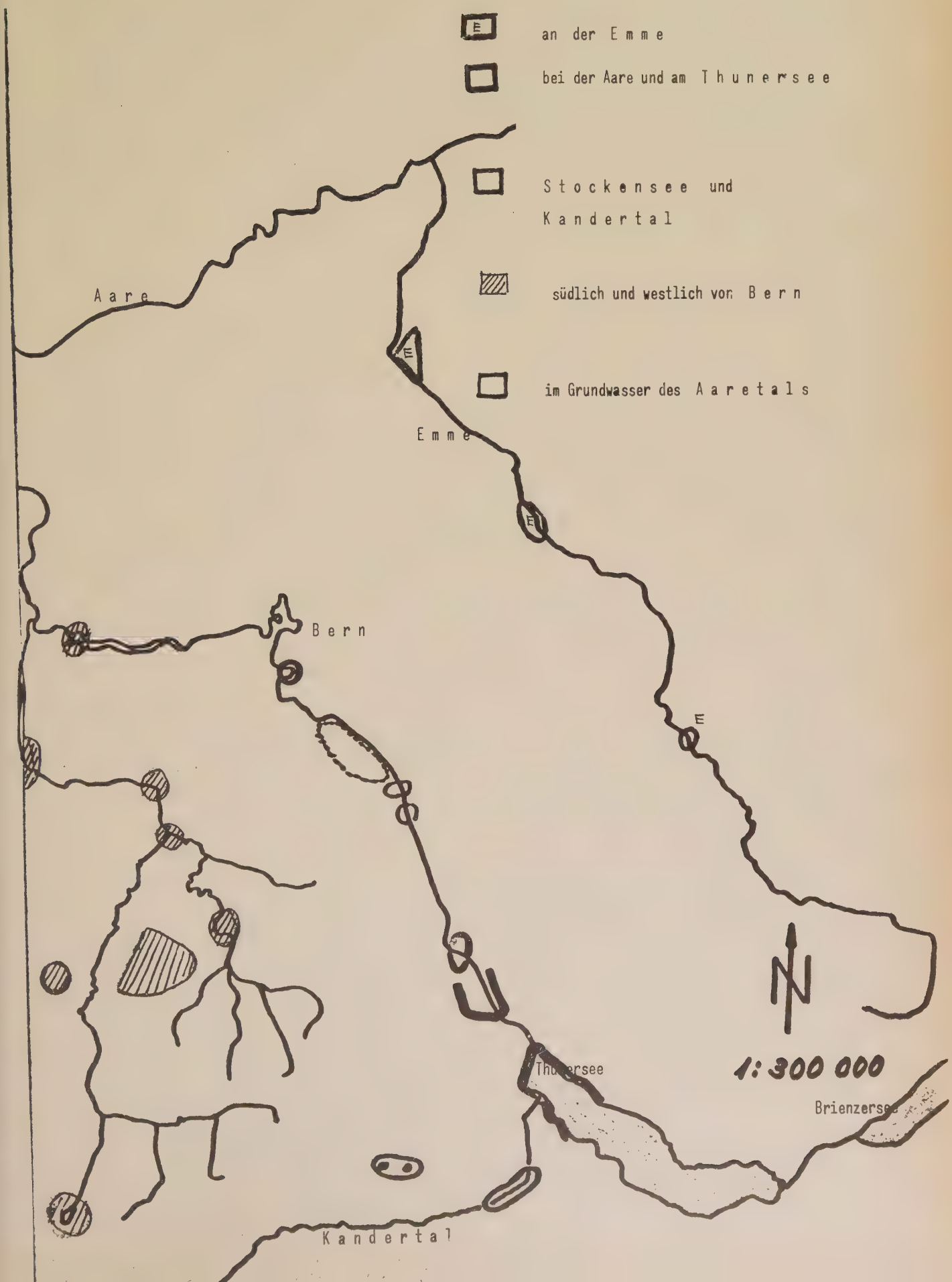
Dass wir in der Schweiz im allgemeinen und glücklicherweise nicht allzu weit von Bern entfernt
18 grössere Grundwasservorkommen haben, darauf hat Hug hingewiesen. Das Grundwasser ist meist von ausgezeichneter Qualität, da es in seinem unterirdischen Lauf durch feinporige Kies- und Sandschichten filtriert wird. Je länger, je mehr wird es bevorzugt wegen seiner Bakterienarmut und guten chemischen Eigenschaften, als

auch wegen seiner praktischen Unbeeinflussbarkeit von Temperaturschwankungen und Witterung. In jener Zeit waren diese Tatsachen im Volke gar nicht heimisch, vielmehr glaubten die Leute an die Reinheit des Felsenquellwassers. So ist es charakteristisch, dass bei den vielen Varianten beide Wassergewinnungstypen einander gegenüber stunden. Wollte man einen reichen Wasserlieferanten, so kam nur das Grundwasser in Frage; denn die hydrologischen Kenntnisse, die im Laufe der zwanziger Jahre durch Erschliessung grosser Grundwassermengen stark gewonnen hatten, erlaubten es auch, dort nach Wasser zu suchen, wo es unsichtbar unter der Erdoberfläche seinen natürlichen Lauf nimmt. Bereits um die Jahrhundertwende {s.S.11} suchte man geeignete Bezugsstellen im Talgelände unmittelbar südlich von Bern bis gegen die Hunzikenbrücke. Der schöne Wasseraufstoss bei Ramsei-Aeschau hatte dann aber den Blick vom Aaretal abgelenkt, und erst die Schwierigkeiten mit der Bevölkerung des Emmentals, die sich sozusagen gegen eine weitere Wasserentnahme aus ihrem Tal und dessen Ueberleitung nach der Bundesstadt verschworen hatte, veranlassten die Berner, dem Aaretal vermehrte Aufmerksamkeit zu schenken.

Nach dem Ausbau der südlichen Quellgebiete zur ersten Hochdruckwasserversorgung der Stadt Bern
1. in den Jahren 1969 bis 1897 {das Reservoir Könizberg wurde in dieser Epoche zweimal vergrössert!} bohrten die Berner 1900 im Lindenaugut und 1903 im Gürbedelta, wo unter einer dünnen Humus- und Lehmschicht bis zu 4,85 m Tiefe „Kies mit fliessendem Wasser" festgestellt wurde. Während der Phase des zweiten Ausbaues der Emmentalfassungen von 1906 bis 1927 wollte man 1916 Gewissheit bekommen über den
24.2 Unterbau des Talbodens zwischen Belp und Münsingen. Die Kiesgruben längs der Aare, denen Kies zur Betonierung der Sporen im Flussbett entnommen wurde, liessen auf grosse Schotterschichten schliessen. Hug wies viele
24.3
24.5 respektable Terrassenfussquellen, die unterhalb des Dorfes Rubigen entspringen, nach. Für die Wahl einer Fassungsstelle empfahl er den Waldkomplex „etwa 400 m westlich der Hunzikenbrücke", denn die Tiefe des Kieses müsse dort schätzungsweise sechs Meter betragen, da der „Erfahrung nach die Mächtigkeit der Schotter talaufwärts zunehme" {Beispiel Thurtal}. Er legte nahe {besonders wegen der hohen Lage der Aare in dieser Gegend}, nachzuprüfen ob eine Infiltration von seiten des Flusses statt-
24.6 finde und mit welcher Geschwindigkeit. Er schrieb: „Als bestes Zeichen für den Nachweis" hat sich „der Gehalt des Wassers an kohlensaurem Kalk erwiesen, den man in der Regel als Härte bezeichnet. Das Flusswasser ist nämlich in der Regel durch eine geringere Härte gekennzeichnet und Vermischungen desselben bewirken auch bis zu einem gewissen Grade eine Reduktion des Kalkgehaltes im Grundwasser".

25. Im folgenden Jahr 1917 umschrieb Hug eine ganze Reihe Grundwasseraustritte in die Aare bei Niederwasserstand, besonders im abgeschlossenen, mit jungen Kiesen angefüllte Ebene nördlich von Thun bis zur
25.3 Eisenbahnbrücke in Uttigen. Dort seien keine „Terrassenfussquellen" möglich, da der ältere eiszeitliche Schotter {der am Rande der Ebene den Talboden übersteigt} unter den jüngeren hinuntergreife. Er schilderte die Ausdehnung des Einzugsgebietes als geradezu „imposant": 35 bis 40 km^2, was einem
25.6 theoretischen Grundwasserertrag bei diesem durchlässigen Boden von 30 000 L/M entspreche, doch „kommen eben aus der Umgebung wahrscheinlich noch unterirdische Zuflüsse hinzu, die sich unserer Berechnung zu entziehen scheinen". - Im selben Jahr wurden diejenigen Projekte ausgeschieden, die rechtlich {ausserkantonal} und wirtschaftlich {Emmental, zu grosse Entfernung ...} nicht tragbar gewesen wären. Zur Konkurrenz verblieben das Aaretal, das obere Emmental und das Sensetal.

Bern sucht neue grosse Wasservorkommen 1916 - 1931



26.4 Das letztere jedoch musste 1925 aufgegeben werden wegen der allzufeinen Talfüllung, die den Grundwasserfluss hemmt und für Filterfassungen unerwünscht gewesen wäre. 1922 zeigte die Profillinie oberhalb der Hunzikenbrücke einen vier bis sechs Meter starken Kies- und Sandboden mit einer mächtigen
1922.2oo Seelettenschicht. „Talaufwärts erreicht die wasserführende Kies- und Sandschicht allmählich eine grössere Mächtigkeit, die indessen auf der Höhe von Wichtrach für die Anlage einwandfreier Fassungen nicht ausreicht". Es musste weiter talaufwärts gesucht werden. 1923 war männiglich über die zehn bis zwanzig
1923.194 Meter tiefe Kiesschicht über einer wasserundurchlässigen Sohle bei Uttigen-Uetendorf erstaunt. Die „unglaublich stark mit dem Aarestand variierendenSpiegelschwankungen" und die Härteresultate setzten bezüglich
1924.237 der Infiltration vom Vorfluter her ein Fragezeichen. 1924 bewiesen zwei kurzdauernde Pumpversuche bei der Eisenbahnbrücke und der Uttigau, dass ein ertragreicher Grundwasserstrom in einem sehr gut filtrierendem Boden vorhanden sein müsse. Die bakteriologisch-chemischen Analysen sagten ein „untadeliges Trinkwasser" voraus.

26.16 1927 verfasste Hug einen abschliessenden Bericht, in dem er zum Kaufe des nötigen Terrains mahnte, da nur im Gebiet oberhalb Kiesen eine Erweiterung der Wasserversorgung grossen Stiles möglich sei; es sei nicht ausgeschlossen, dass in absehbarer Zeit auch die Industrie sich
26.5/6 dieses qualitativ einwandfreien Wassers zunutzen ziehen wolle. Sein Gutachten stützte sich auf die Ergebnisse der Grösse des direkten und indirekten Einzugsgebietes, der talaufwärts zunehmenden Schottertiefe {~ dreissig Meter}, der erfolgreichen Pumpversuche, die bei einer Entnahmemenge von 4loo L/M eine Absen-
26.11 kung von nur 41 cm ergaben, die günstigen Härteverhältnisse, die zugleich auf namhafte Infiltrationen von Aare- und eventuell Thunerseewasser schliessen liessen, als auch auf die günstige Durchlässigkeit des Untergrundes. Sein Vergleich mit andern Grundwassergebieten {Zürich-Limmat, Sihl-Limmat-Altstetten, Malters-Littau ...}liess auch die Betonung zu, dass die Stadt Bern im Gebiet Kiesen-Uttigen-Uetendorf unbedenklich einige zehntausend L/M wasser entnehmen dürfte.

In geologischer Sicht musste am Ende der grossen Zwischeneiszeit nach der tiefsten Talbildung ein Gletschervorstoss um Bern eine riesige Schotterbarriere abgelagert haben. Der rasche Gletscherrückgang liess einen Aaresee von Brienz bis Bern entstehen. Die Reihenfolge der Materialablagerung bei Einlauf eines Flusses {hier die ursprüngliche Kander} ist:

1. Grobe Kiese
2. Sande
3. schwebende Stoffe und Schlammsande, die weit in den Seegrund hinausgeschwemmt

26.5 wurden. Seine Ansicht über die den Untergrund abdichtende Seeletten hiess:„Der wasserführende Schotter lagerte überall auf dem eiszeitlichen Seebodenlehm, der sich gegen das Ende der Eiszeit als Auffüllung des innerhalb des Berner Moränegürtels entstandenen Sees gebildet hatte". Deswegen lassen sich Schlammsande und Seeletten im Aaretal bis Bern feststellen. In Uttigen wurde wohl die Schwemmlandebene erzeugt durch das Geschiebe der Kander und der Zulg, da die Kander erst 1714 in den Thunersee geleitet wurde. Diese Theorie wurde durch Bohrungen bestätigt: in der Belpebene kommt eine wenig ertragreiche Kiesschicht vor, jedoch mächtige Schlamm-und Lettschichten. Das Gürbetal, dessen Untergrund mit Lehm- und Schlammsande gefüllt ist, führt praktisch kein Grundwasser. Im Aaretal,
13.4 östlich des Belpberges, konnte man bei „rund 88 Meter unter Flur den blauen Seebodenlehm nicht durchbohren ...und auch den felsigen Untergrund nicht erreichen"!

1 9 3 1 zog Gubelmann die Bilanz aus seinen Erfahrungen der vergangenen fünfzehn Jahren:

39.2o „Westlich der Station Kiesen hat sich für uns {der Wasserversorgung der Stadt Bern} die wenig günstige Tatsache ergeben, dass in zehn bis zwölf Meter Tiefe unter der Oberfläche der Schotter so verfestigt und verkittet ist, dass er praktisch als undurchlässige Schicht quer durch den Talboden streicht. Auf dieser Schicht fliesst das Grundwasser talabwärts; dasselbe rührt ... hauptsächlich aus dem Kiesenbach- und Rothachental; es ist sehr hart. ... Günstig werden die Verhältnisse ... unterhalb der Eisenbahnbrücke ... . Ein a l t e r A a r e l a u f muss frühersich in der bereits erwähnten Lehmauffüllung des viel weiter nach unten ausgedehnten Thunersees eingefressen und diese Rinne später mit Kiesen und Sanden wieder aufgefüllt haben. In diesem Auffüllmaterial finden wir dann auch die für uns günstigen Grundwasservorräte".

13.4 Der Aaregrundwasserstrom wird gespiesen:

α) hauptsächlich von der Aare {?},

β) vom Sickerwasser der Talhänge her,

γ) von den Niederschlägen,

δ) durch einen „bescheidenen Teil Wasser aus dem T h u n e r s e e, das auf unterirdischem Wege ins Fassungsgelände" fliesst.

Wichtig war, dass es sich nicht bloss um eine unterirdische Ansammlung stehenden Wassers in einem geschlossenen Becken, sondern um einen regelrechten, in steter Bewegung befindlichen unterirdischen Strom handelte: dies bewiesen u. a. die Grundwasserisohypsen quer zur Aare. - „Das Ausbleiben", so meint Gubelmann, „von Niederschlägen und andere klimatische Verhältnisse spielen hier nur eine ganz untergeordnete Rolle".Denn über längere Zeiträume hin wurden die Wasserstände, Temperaturen, Härte der Aare und des Grundwassers systematisch gemessen. Dadurch ergab sich schliesslich ein auf direkte Beobachtungen aufgebautes Bild des Wasserregimes im Fassungsgebiet. -

Durch die Tatsache, dass unterhalb der Eisenbahnbrücke die Härte am geringsten und oberhalb der

39.21 Aare westwärts die Härte rasch zunahm, war die Möglichkeit vorhanden, ein Grundwasser mit gewünschter Härte

13.1o und Temperatur zu gewinnen, weswegen die Wasserentnahme in der Nähe des Flusses geradezu erwünscht war. Er rechnete damit 6o ooo L/M heben zu können, was damals 15o % des Wasserverbrauchs an einem Sommertag in der

39.21 Stadt entsprach. Er meinte: „Wir dürfen also damit rechnen, dass die Stadt Bern - wenn sie auf dieses Projekt greift - für d i e s e s J a h r h u n d e r t m i t T r i n k - u n d B r a u c h w a s s e r

13.11/12 e i n g e o e c k t i s t". Die natürliche Filterwirkung des Bodens ist eine vollkommene: es fehlen eigentliche Verschmutzungsformen, das Wasser ist absolut klar und praktisch keimfrei. - Er verlangte dringend

39.26 die Vergrösserung der Speicheranlagen und des Landkaufs im Aaretal. Für das Stadtnetz forderte er gleichzeitig die Erstellung einer unteren Druckzone, um die Hubarbeit des künstlich geförderten Wassers wirtschaftlich zu gestalten. - Der Sinn der ursprünglichen Aaretalanlagen war, die Verbrauchsspitzen zu decken.

39.27 Zitieren wir nochmals Gubelmann: „Die Bauzeit ... dauert ... wenigstens zwei Jahre. Wir müssen also ... damit rechnen, dass vor dem Jahre 1 9 3 5 Wasser aus einer neuen Aaretalanlage n i c h t zur Verfügung stehen kann"! Es sei hierbei vorweggenommen, dass es von Beginn der ernsthaften Projektierung 1 9 1 6 bis zur Botschaft an die Gemeinde 1 9 4 6 sage und schreibe d r e i s s i g J a h r e d a u e r t e !

IX AARETALWERK I 1946 - 1965

1934.329 Die Wasserversorgung musste im Sommer des Jahres 1934 den letzten verfügbaren Quellzufluss in Anspruch nehmen; trotzdem schleppte das Projekt dahin, das im selben Jahre ergänzt wurde durch geophysikalische Messungen des Bodens im künftigen Fassungsgebiete. Die Kriegszeit drängte zu vor-
1940.262 sorglichen Massnahmen: Tarnung zum Schutze gegen Fliegerangriffe und Erstellen von Leitungsverbindungen, die im Notfalle den direkten Zufluss ins Verteilungsnetz unter Umgehung der Reservoire ermöglicht hätte.
1942.290 Erst 1941 konnte das vorgeschriebene Gesuch um Konzession für die Wasserentnahme und Wasserableitung bei der zuständigen kantonalen Behörde gestellt werden.

1942 ergaben Versuche für die Fernleitung, dass das Eisenbetonrohr bei sorgfältiger Herstellung billiger und mindestens ebenso gut sei wie Guss- oder Stahlrohre bezüglich:

a) dem Wasserinnendruck
b) der Wasserdurchlässigkeit
c) dem Widerstand gegen Aussenbelastungen
d) der Luftundurchlässigkeit und
13.19 e) der Abdichtung der Rohrfugen.

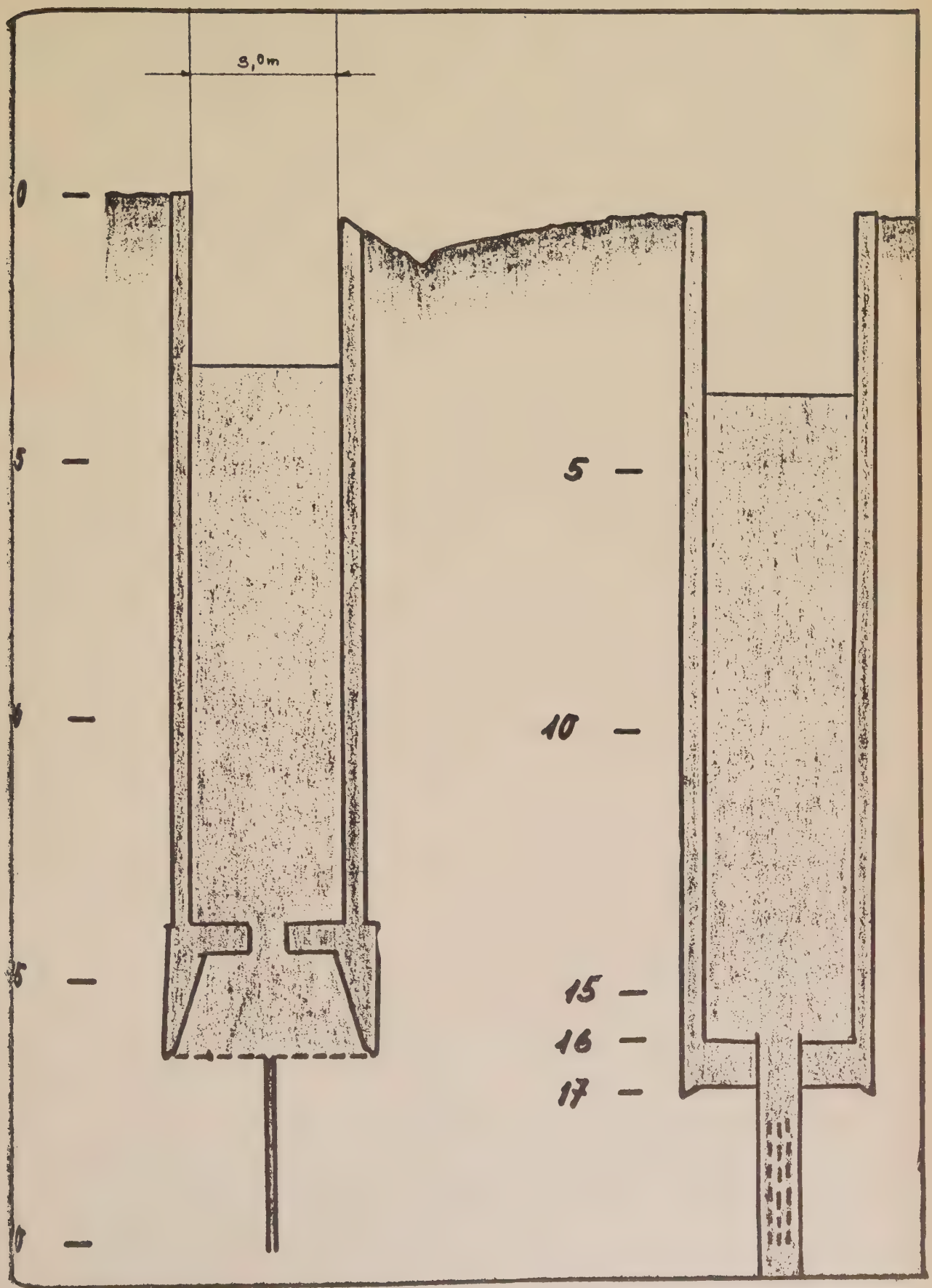
Es kamen Rohre mit doppelter Spiral- und Längsarmierung mit o,92 m l.W. zum Einbau, sodass bei vollem
21.11 Durchfluss - bei 6o ooo L/M - sich der Wasserdruck der Freispiegellage nähert.

1943.319 Ernsthafte Versorgungsschwierigkeiten traten 1943/44 auf {Presse und Radio mussten zum
1944.359 sparsamen Wasserverwenden auffordern}, was wiederum zum Beginn des Baues drängte: aber noch hinderte die
1946.1o Zementrationierung, die bis 1945 dauerte, daran. Am 31. Mai 1946 bewilligte der Bürger, froh „dass nun etwas gehe" die Ausführung dieses Werkes; sogleich wurde der erste Fassungsbrun-
1946.386 nen abgesenkt und die Rothache in einem „Dücker unterfahren". 1947/48, infolge der ungewöhnlichen
1949.333 Hitze, mussten die Lautsprecherwagen der Polizei die Stadtbewohner zum Masshalten im Wasserverbrauch mahnen und im Juli 1949 erlöste der Wasserzufluss aus dem „Oberland" die Berner aus der Wasserklemme.
1950.351 Am 8. Dezember 1950 wurde dieses imposante Bauwerk eingeweiht.

Der Bau ordnet sich äusserlich in vier Elementen:

1. Element: Wasserfassung
2. Element: Sammel- und Hauptheberleitung
3. Element: Freifalleitung
4. Element: Pumpwerk Schönau.

15.8 ad. 1. Element „Wasserfassung": Die Wahl des Brunnentyps war damals insofern schwierig, als meist Vertikalbrunnen in Gruppen verwendet wurden {Emmental II}. Projektiert waren ungefähr zwanzig Filterbrunnen im Aaretal, die nach dem zweiten Ausbau 6o ooo L/M geliefert hätten. Sehr skeptisch war man i.a. noch gegenüber den neuen Schachtbrunnen mit Horizontalfilterröhren. Als man die Anlagekosten beider Brunnentypen verglich und zudem sah, dass bei gleicher Fördermenge beim Horizontalbrunnen eine geringere Absenkung des Wasserspiegels eintrat, wurde im Aaretal, erstmals in Europa, ein Horizontalfilterbrunnen eingebaut. Dieser Vorschlag der „AG für Grundwasserbauten", Schachtbrunnen mit Horizontalfassungen zu nehmen, schien gerade wegen der Tiefenlage und Mächtigkeit der wasserführenden Schicht folgende Vor-


3,0m
0
5
10
15
16
17

teile aufweisen:

21.13 α) Die pneumatische Absenkung der Schachtbrunnen gibt den denkbar besten Aufschluss über den lokalen Aufbau des Untergrundes, um den Ort der Horizontalfilter zu bestimmen.

β) Horizontalfilter, die am zweckmässigsten in der Grunddisposition als Ellipsen verlegt werden sollten, erreichen eine optimale Leistung, da dies eine grösstmögliche und gleichmässige Ueberdeckung des Fassungsgeländes erlaubt.

γ) An Stelle von zwanzig Filterbrunnen genügen schon vier Horizontalfilterfassungen, wodurch weniger Heberleitungen gebaut und bessere Entlüftungsmöglichkeiten geschaffen werden.

δ) Bei gleicher Förderung ist die Absenkung des Wasserspiegels geringer.

ϵ) Der Vergleich der Anlagekosten spricht eindeutig für die neue Fassungsart.

Die Abteufung der Brunnen kann nach zwei M e t h o d e n erfolgen:

a) Bohren, Kies ausbaggern {Kiespumpe} und Hinablassen des Schachtbrunnens oder

b) Abgraben unter Druckkapsel mit stetigem Aufbau des Schachtes {pneumatische Absenkung des Brunnens}.

Die Schwierigkeit bei der zweiten Methode besteht darin, dass die Abteufung des Schachtes nach Erreichen des Grundwasserspiegels quasi unter Wasser ausgeführt werden muss. Nach Schachtaushub mit der Kiespumpe gewinnt man keinen genauen Einblick über die lokale Lagerung der Gesteine, sodass für das Einpressen der Horizontalfilter {besonders bei unregelmässigen Einschichtungen von Lehmlinsen} die günstigsten Bohrstellen nicht abgetastet werden können. Die p n e u m a t i s c h e A b s e n k u n g {wie sie auch schon bei der Emmentalwasserversorgung II angewendet worden war} hebt diese Nachteile auf. Der Fuss des Schachtes ist eine Kapsel, ein C a i s s o n , unter der die Arbeiter das Schachtloch graben; der Aushub, wie auch der Ein- und Ausstieg, erfolgt durch ein senkrechtes, dicht abgeschlossenes Standrohr über dem eine büchsenartige Schleuse {Korridor} steht. Dringt das Caisson in das Grundwasser ein, so wird es unter d e n Druck gesetzt, der der das Wasser aus der Kapsel drängt. Die Arbeiter schaffen demnach unter Druck, was gewisse Risiken, aber den Vorteil der Sichtbarkeit der Gesteinsschichtung mit sich bringt.

Das Einbringen der Filterrohre unterscheidet sich von den bekannten Methoden {Sickerrohre der Emmentalfassungen I} lediglich dadurch, dass die Filterrohre nicht in offenen Baugruben, sondern von den Schächten aus mit horizontalen Bohrungen eingetrieben wurden. Die damals im Auslande oft angewandte ameri-

9.1030 kanische R a n n e y - M e t h o d e presst den Filter direkt in den Wasserleiter { i n d e r S c h w e i z e r s t m a l s 1 9 4 9 i n Z ü r i c h a n g e w e n d e t }. F e h l m a n n von der „AG für Grundwasserbauten" forschte nach einem verbesserten Verfahren, das nun e r s t m a l s i n K i e s e n zur Anwendung kam und heute als „ F e h l m a n n - V e r f a h r e n" die Anerkennung der Fachwelt gefunden hat. Es beruht auch auf dem Prinzip des strahlenförmigen Einbaues von Horizontalfiltern von einem zentral angeordneten Schacht aus. Diese werden in vorher vorgetriebene Bohrrohre eingestossen, die an der Spitze einen mit Oeffnungen versehenen Bohrkopf {Pilot} besitzen, sodass das Wasser und Feinmaterial in den Schacht abgeführt werden können. Sind die Bohrrohre weit genug vorgetrieben, so werden normale verzinkte Metallfilterröhren eingeschoben, wobei es noch möglich ist, die Schlitzweiten der jeweiligen Bodenformation anzupassen.

9.1031 Nach dem Einbau der korrosionsbeständigen Horizontalfilter werden die Bohrrohre abgezogen. Von diesem Jahre 1 9 4 7 trat der F e h l m a n n - B r u n n e n den Siegeszug durch das schweizerische Mittelland und Jura an und innert sechs Jahren wurden fünfunddreissig Anlagen mit dieser Berner-Neuentwicklung ausgestattet.

Die vielen Juraquellen sind sehr von der Witterung und der Jahreszeit abhängig; das sehr weiche Wasser
9.1033 wird in den schotterarmen Tälern nicht genügend filtriert. Menge und Qualität wird beeinträchtigt durch die Folgen der Entwaldung in den Einzugsgebieten. Beim Berühren des Wassers mit Torf wird Sauerstoff entzogen, sodass das Wasser zu Eisen- und Manganlösungen neigt. Da keine wesentliche Grundwasservorkommen vorhanden sind, suchte man das Wasser „in den Bergschuttabschwemmungen der Synklinalen" mit ihren stark sandigen Einlagerungen zu fassen. Die langgezogenen und tiefen Drainagefassungen waren zu teuer. Der Versuch mit dem Fehlmannbrunnen bewährte sich trotz dem sehr feinen tonigen Sand und oftmals resultierte ein fünffacher Ertrag gegenüber den herkömmlichen Vertikalbrunnen.

Im A a r e t a l wurden 1 9 4 7 - 4 9 vier Schachtbrunnen {A; B; C; D} von je drei Meter lichtem Durchmesser und mit je 67 bis 16o m langen horizontalen Filterrohrstrecken eingebaut. Das Durchbohren von verkitteten Schottern oder Lehmlinsen erwies sich als unmöglich; bei Brunnen B liegen die Filterrohre ausnahmsweise in zwei Stockwerken. Interessante Einzelheiten finden wir in der nachstehenden Tabelle:

14.31o

	A	B	C	D
Filterrohr mit o,15 m Ø; Länge	16o,6	1o9,o	67,o	1oo,25
Ertrag bei 2,5 m Absenkung in L/M	12 4oo	3 2oo	12 3oo	12 1oo
Kosten des Schachtbrunnens in Fr.	63 189,45	52 435,3	51 277,7	41 3o7,65
Kosten des Horizontalfilters in Fr.	5o 839,1o	38 o43,7	31 726,7	36 863,65
Kosten pro m Filteranlage in Fr.	284	343	426	361
Kosten des L/M in Fr.	7,o5	11,9	6,3	4,8
Verhältnis aus (Ø Schachtbrunnen) dividiert durch (Ø Filterfläche) =	ideal! 6 : 94	58 : 42	25 : 75	23 : 77
Untergrund	Brunnen und Röhren in gut durchlässigen Schichten; gleichmässige Verteilung der Rohre	verkittet; Filter in zwei Etagen; gegenseitige Beeinflussung	Brunnen in feinkörnigem Sand, keine gleichmässige Verlegung der Rohre, da Lehmlinsen	ideal wie bei Brunnen A.

- - - - - - - - -

Fünf v e r s c h i e d e n e F i l t e r a r t e n wurden erwogen für Vertikalbrunnen:

α) Schuppenfilter {Metall};
β) Gusseisen-Lamellenfilter;
γ) Eisenbetonfilter;
δ) Taschenfilter (Beton);
ε) Gitterfilter.

{Diese kamen jedoch nicht hier zur Ausführung, da man sich für einen Vertikalbrunnen mit geschlitzten Horizontalfilterrohren entschied.}

Letzterer wurde von der AG f. Grundwasserbau in Bern entwickelt, um die Wassereintrittsfläche der Betontaschen durch ein mit Vynilchlorid geschütztes Metallgitter zu vergrössern, sodass der Nachteil der Eisenbetonfilter behoben war.

- - - - - - - - -

Die Brunnen selber sind an ihrer Sohle für den Wassereintritt geöffnet. Sie sind mit folgenden Instrumenten ausgerüstet:

a) Temperaturfühler,
b) Elektroden für die Messung der elektrischen Leitfähigkeit,
c) Schwimmer für die Feststellung der Wasserspiegelhöhe.

Alle gemessenen Werte werden ferngemeldet an die Zentrale im Pumpwerk Schönau.

13.26
21.17 ad. 2. Element „S a m m e l - u n d H a u p t h e b e r l e i t u n g": Die 2,35 km lange H e b e r l e i t u n g wurde nicht mehr wie 1 9 2 7 im Emmental nach dem Prinzip von L i n d l e y , die eine Einschnürung im Fallschenkel ausweist und die mittelst einer Schiebermanipulation reguliert wird, sondern nach eigenen Studien mit selbsttätiger Luftabfuhr 1 9 4 9 entwickelt. Die horizontale Heberleitung führt in eine Vakuumkammer, wo drei Fallrohre {Durchmesser o,4 und o,6 und o,8 Meter} in der Höhe versetzt eingebaut wurden. Man erreichte dadurch, dass bei steigender Abflussmenge mehr Querschnitt zur Verfügung steht und trotzdem in den Fallschenkelm genügend Geschwindigkeit vorhanden ist um die Luft mitzureissen.

Das Wasser fliesst aus den vier Brunnen durch die Sammelheberleitung in einen Sammelschacht {oder Regulierwerk}, der neben den Messinstrumenten eine Vorrichtung zur selbsttätigen Entlüftung der Heberleitung und eine vertikalachsige Pumpe zur Erhöhung der Entnahmemenge von 4o ooo L/M auf 6o ooo L/M enthält. Beim Sammelschacht beginnt die 2,1 km lange horizontale Hauptheberleitung mit den drei Fallhebern; im dritten, im Endfallheber, kann die abfliessende Wassermenge, als auch deren Höhe gemessen werden. Hier besteht noch die Möglichkeit {vor dem Uebergang in die Freifalleitung} alles Wasser durch einen Leerlauf in die Aare abzuleiten.

21.2-8 ad. 3.Element „F r e i f a l l e i t u n g": Die G r a v i t a t i o n s f e r n l e i t u n g , die in Kiesen bei Fallheber drei beginnt, dem rechten Aareufer bis Münsingen folgt, dort den Fluss rechtwinklig in einem 1o6 Meter langen Dücker kreuzt, nach einem Ueberlaufwerk in einem begehbaren 11o Meter langen Stollen eine Bergschulter untergeht, dem linken Aareufer entlang den Eichholzmorast mit einer 35o Meter langen auf Pfahljochen ruhenden Eisenbetonbrücke quert, erreicht nach 17,26 km das Pumpwerk Schönau. Die F r e i f a l l e i t u n g besteht hauptsächlich aus Schleuderbetonröhren {Durchmesser: o,9 oder o,92 oder 1 m}, jedoch die Dücker {Rothachen und Aare} und die Stollenleitung Belpberg aus schmiedeisernen Flanschenröhren, die im Innern spritzverzinkt und mit Bitumen angestrichen wurden. Der Bau des A a r e d ü c k e r s 1 9 4 7 ging gut vonstatten, jedoch derjenige in der Schönau, der die Stadt nach dem Burgernziel verbindet, als auch der Stollen am Belpberg brachten unerwartet Hindernisse. Am Belpberg kam nach einer Sprengung ~2ooo m^3 Hang-
21.6 material, das auf einer schwach sandigen Lehmschicht auflag, ins Rutschen. Der Stollen wurde deshalb mit
31.7 Beton und Zementinjektionen auf eine Länge von 32 Meter armeirt. Beim Bau des S c h ö n a u d ü c k e r s machten sich die im Flussbett gelagerten Schlammsandschichten unangenehm bemerkbar, denn bald trat das Was-
21.1o ser „unter den Schneiden der Spundwände durch und strömten in solchen Massen in die Baugrube ein, dass die Wasserhaltung unmöglich wurde. ... Um das Bauprogramm dennoch einhalten zu können, entschlossen wir uns im Dreischichtenbetrieb zu arbeiten. ... Trotz möglichster Beschleunigung der Arbeiten stieg gegen Ende derselben die Aare immer bedenklicher an, sodass wir uns entschliessen mussten, die im Flussbett stehenden Pfähle durch Sprengung zu entfernen". Der Fundation der F r e i f a l l e i t u n g musste besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, da die Terrainverhältnisse variierten. D r e i F u n d a t i o n s a r t e n kamen zur Ausführung:

21.7 α) einfache Betonsockel, die direkt auf dem kiesigen Boden abgestellt wurden;

β) Eisenbetonplatten auf Holzpfählen;

γ) echte Eisenbetonbrücke, die auf Pfahljochen ruht.

ad. 4. Element „P u m p w e r k S c h ö n a u": Entsprechend dem damaligen Abflussvermögen von 42 ooo L/M kamen im Pumpwerk Schönau 1 9 4 9 vier zweistufige Mitteldruckzentrifugalpumpen zum Einbau, die je eine Leistung von 1o ooo L/M bei einer Förderhöhe von 1oo Meter aufweisen {275 kW entsprechen 32o PS}, was der Höhendifferenz zu den Reservoiren entspricht. Analog wurde das Ueberlaufgebäude westlich des Pumpwerkes bemessen, um die Gleichförmigkeit des Zuflusses trotz Druckschwankungen und des verschiedenen Wasserverbrauchs zu gewähren. Der Zufluss blieb nicht immer konstant und optimal {die Untersuchungen mit Fernsehkamera in den Horizontalfilterrohren hatten deren teilweise Korrosion und Verstopfung gezeigt}, obgleich die Fassungs- und Heberanlagen für 6o ooo L/M konstruiert und eine zusätzliche Bohrlochpropellerpumpe {6o ooo L/M auf △ 3 m Höhe} im Sammelgebäude Kiesen montiert wurden. Diese erfüllt zwei Aufgaben:

a) Sie senkt den Wasserspiegel im Sammelschacht gegenüber dem im Brunnen, wodurch die Heberleistung erhöht wird.

b) Das Wasser im Sammelgebäude muss das Abflussrohr vollständig überdecken, damit die Drucklinie in der Freifalleitung auch bei Niederwasserstand erhalten bleibt. Kurzgefasst heisst die zweite Aufgabe: vertuschen des Ober- und Unterwasserspiegels!

Es gab nun schon Winter, da der Aareertrag auf 35 ooo L/M sich senkte; diese Minimalabgaben können durch verschiedene Faktoren verursacht worden sein:

- Aarespiegel gesunken;
- Aareinfiltration lässt nach;
- teilweise Korrosion und Verschmutzung der Horizontalfilterrohre.

Das Ueberschusswasser in der Schönau wird noch verwertet zur Erzeugung elektrischer Energie durch eine Francisturbine, die beim Durchfluss von maximal 4o ooo L/M über die Gefällshöhe „Ueberlaufgebäude-Aareniederwasserstand" maximal achtzig Kilowatt Leistung abgeben kann.

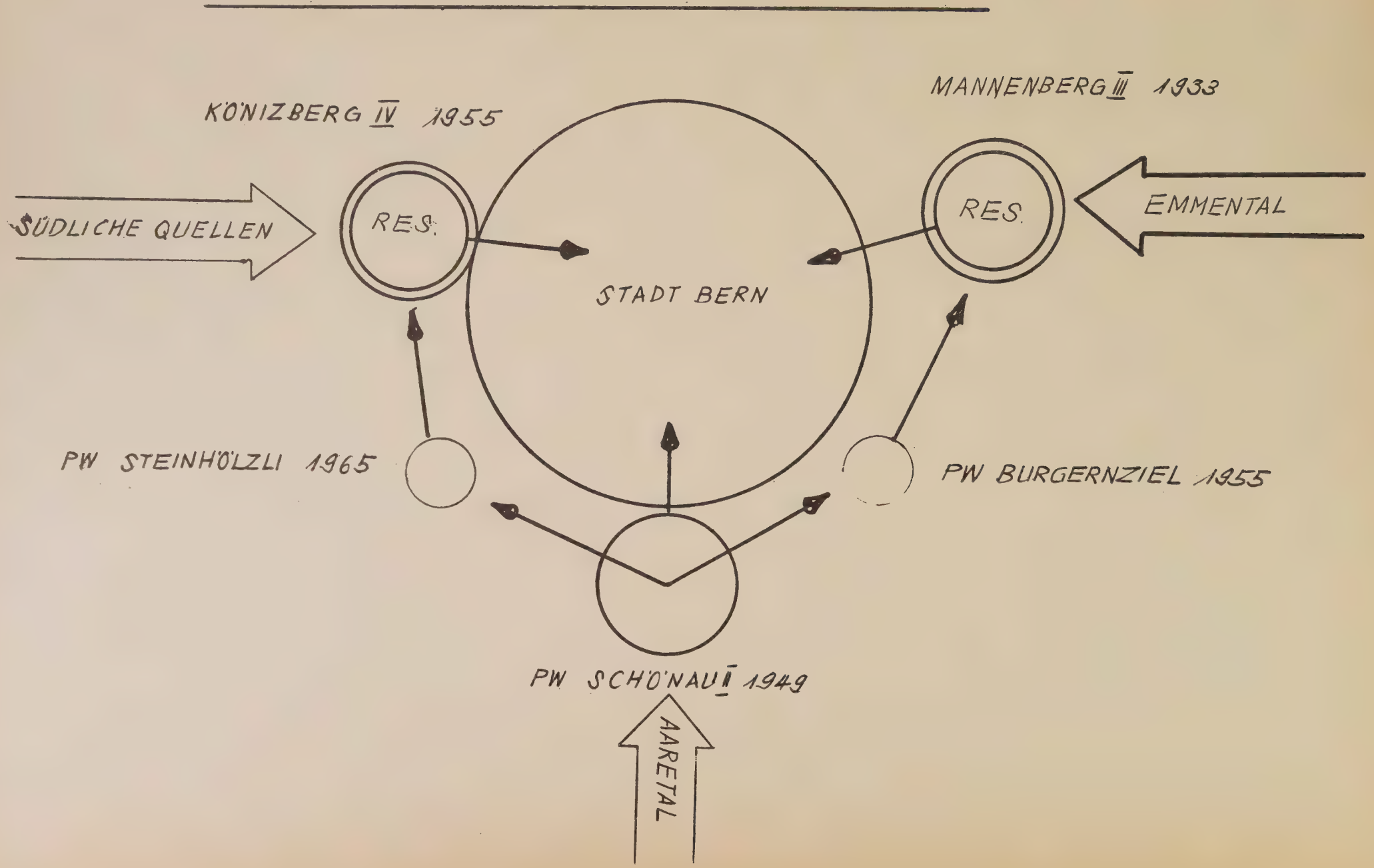
Der Vollausbau des Pumpwerkes war für später vorgesehen; man glaubte die Turbine entfernen und an ihrer Stelle eine fünfte Pumpengruppe zu 12 ooo L/M installieren zu können. Die bestehenden Pumpen hätten in ihrer Leistung ebenso auf 12 ooo L/M erhöht werden sollen, doch sah man nach zehn Betriebsjahren, dass

α) mit gleichartigen Pumpen keine Feinabstufung in der Wasserabgabe erzielt werden könnte;

β) die Turbine jährlich einen Gewinn von etwa 2o ooo Franken bis 3o ooo Franken abwirft, der sich zusammensetzt aus dem Erlös der Stromabgabe an die Gasfabrik und an die eigenen Pumpen, sowie aus einem almosenhaften Beitrag, den das Elektrizitätswerk der Stadt Bern für seinen Strombezug vergütet!

γ) die Entfernung der Turbine grosse bauliche Schweirigkeiten verursacht hätte, weil die Sockeln der Turbinen- und Pumpenaggergate das solide Eisenbetonfundament des Pumpwerkes tragen.

Aus diesen Gründen wurde im E n d a u s b a u die Turbine an Ort und Stelle belassen und die Förderleistung der Pumpen erhöht durch Parallelisierung der bestehenden Mitteldruckpumpen mit vier Bohrlochpumpen zu 5ooo L/M bei einer Förderhöhe von 11o Meter. - Die Doppelfunktion des Pumpwerkes besteht einerseits in der Deckung der Spitzen im Wasserverbrauch und andererseits in der Speisung der Reservoire über die Sekundärpumpwerke B u r g e r n z i e l 1 9 5 5 und S t e i n h ö l z l i 1 9 6 5. Alle Steuerfunktionen wurden zentralisiert im PW Schönau, wo die Reservoirstände, Zu- und Abflussmengen der drei Knotenpunkte Könizberg, Mannenberg und Schönau registriert werden. Per Telephon werden die Sekundär-PW und einige Schieberstationen {Thormannstrasse;Militärplatz;Könistr.} ferngesteuert.


KÖNIZBERG IV 1955
MANNENBERG III 1933
SÜDLICHE QUELLEN
RES.
RES.
EMMENTAL
STADT BERN
PW STEINHÖLZLI 1965
PW BURGERNZIEL 1955
PW SCHÖNAU II 1949
AARETAL

X SCHLUSS DES ERSTEN TEILS

Obgleich die Tafel der Bevölkerungsentwicklung der Stadt Bern von 1963 an eine r ü c k - l ä u f i g e B e w e g u n g {die auf das Abwandern der Familien in die Aussengemeinden zurückzuführen ist} erkennen lässt, stieg der Wasserkonsum weiterhin an. Da sich in den Gemeinden westlich und nördlich der Stadt ein Wassermangel in den Spitzenzeiten bemerkbar macht, werden voraussichtlich fünfzehn Gemeinden {darunter ein Gemeindeverband mit nochmals fünfzehn Verbandsgemeinden} künftig mit Stadtwasser zu beliefern sein. Heute schon beziehen acht Gemeinden zeitweise Wasser von Bern:

Scherli	Zollikofen
Schwarzenburg	Köniz
Urtenen	Belp
Bäriswil	Gasel

Anschaulich lässt sich der j ä h r l i c h e W a s s e r v e r b r a u c h der Stadt deuten:

a) durch eine ½ Meter hohe Wasserschicht über der Bodenfläche der Gemeinde {Fläche = $51{,}54 \cdot 10^6$ m^2; mittlerer jährlicher Niederschlag ~ 0,9 Meter !} o d e r

b) durch einen mit Wasser gefüllten Kreiszylinder von der Höhe des Münsters und einem Durchmesser von 580 Meter o d e r

c) durch 26 Würfel, deren Kantenlängen dem Münsterturm entsprechen!

- - - - - - - - - -

Durch die graphische Darstellung „N i e d e r s c h l a g B e r n m i t j ä h r l i c h e n A b w e i c h u n g e n v o m M i t t e l w e r t" hoffte ich Aufschluss zu bekommen, ob eine gewisse Gesetzmässigkeit im Niederschlagsgeschehen existiere oder nicht; denn die Ergiebigkeit der Quellen und die Höhe der Grundwasserspiegel sind grösstenteils durch die Niederschlagsmengen bestimmt. Solange genügend Wasserreserven vorhanden sind, erscheint eine solche Frage wenig opportun. Könnte man niederschlagsreiche und niederschlagsarme Perioden nachweisen, so liesse sich die Dringlichkeit der Planung jeweils rechtfertigen; beispielsweise war der Erguss seit 1955 sehr ausgeglichen und gegen 1964 zeichneten sich trockene Phasen ab. Wir könnten daraus schliessen, dass von einem gewissen Zeitpunkt an regenreiche Jahre folgen werden, und demnach hätten wir für das nächste Jahrzehnt genügend Wasser. Trotz vielen Berechnungen musste ich schliesslich erkennen, dass das Niederschlagsgeschehen sich nicht in einer schlichten mathematischen Formel festhalten lässt. - In diesem Zusammenhang ist es noch von Interesse, ob vielleicht eine Uebereinstimmung zwischen den Niederschlägen und der S o n n e n f l e c k e n t ä t i g k e i t besteht, die infolge der geringeren oder intensiveren Strahlungswärme grössere oder kleinere Niederschlagsmengen bewirken sollte. Ihre Häufigkeit müsste eine elfjährige Niederschlagsperiode bewirken. Der graphische Vergleich {siehe Beilage} verbietet einen solchen Zusammenhang von Sonnenfleckenextremwerten und Niederschlagsmengen herauszulesen.

- - - - - - - - - -

H e u t e , wo wir mit Genugtuung zurückblicken auf das h u n d e r t j ä h r i g e B e s t e h e n d e r b e r n i s c h e n H o c h d r u c k w a s s e r v e r s o r g u n g , darf die Tatsache nicht verschwiegen werden, dass zu Verbrauchsspitzenzeiten oft schon die Wasserabgabe die Zuflussmenge überschritten hat. Dies ist wohl das Zeichen für die Verantwortlichen, ihre Projekte der Schub-

lade zu entnehmen, die Voruntersuchungen in die Wege zu leiten und den zahlenden Bürger aufzuklären. Die schlechten Erfahrungen im Westen und Osten der Stadt werden das Interesse wiederum aaretalaufwärts lenken. Man gedenkt in der Uttigau bei Uetendorf ebensoviel Wasser zu heben, als heute schon die Stadt verbraucht. Die Fernleitung wird voraussichtlich über den Belpberg gezogen und in einem dritten Reservoir am Gurten enden.

Zu diesem Projekt sind bis heute {d.h. bis Ende 1965} noch ernsthafte und grundsätzliche hydrologische Probleme ungeklärt:

A) Wie gross ist die Mächtigkeit des Grundwasserstromes in der Ebene von Uetendorf westlich der Aare?

B) Woher kommt das Grundwasser? Als mögliche Spender kommen in Frage:

- α) Aare als Vorfluter
- β) Gebietsniederschläge
- γ) Hangniederschläge
- δ) Thunersee
- ε) Grundwasser aus Richtung Rappenfluh
- ζ) Grundwasser in alten {ehemaligen} Kanderläufen.

Interessant, jedoch leicht verständlich, ist die Konstanz des Glütschbaches, der durch diese Ebene pendelt, da sein Bett kolmatiert ist.

Hoffen wir, bald ein Mass berechnen zu können, mit welcher Bestimmtheit diese Faktoren am Grundwassergeschehen in der Uttigau beteiligt sind.

- - - - - - - - - -

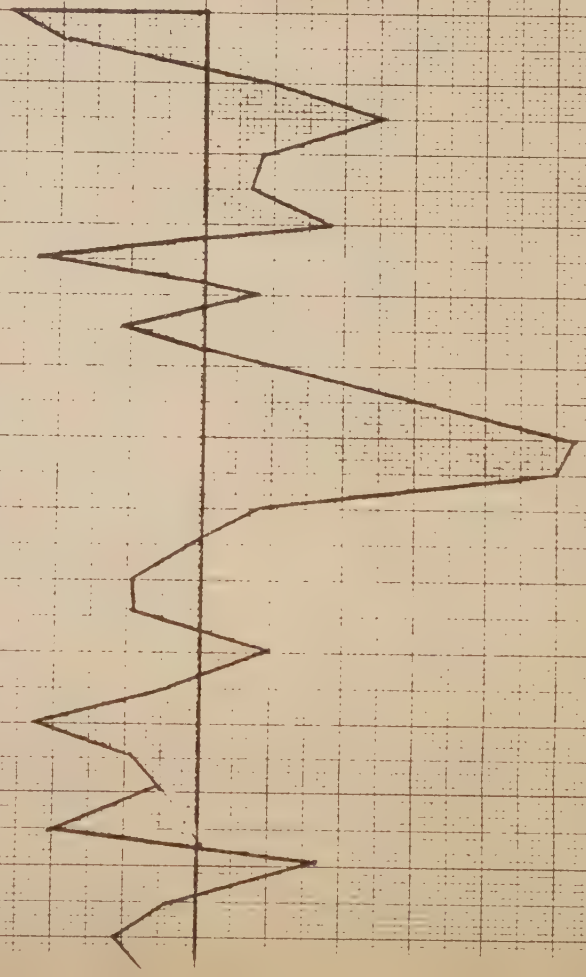
Hiermit wäre das Werden und der Ausbau der ≪Neueren Trinkwasserversorgung der Stadt Bern≫ in ihren Hauptzügen dargelegt bis zum Jahre 1965. Welch ein Unterschied zwischen gestern und heute! Vorbei ist die Zeit, in der man sich mit schweren Holzkübeln und Kupfergelten abplagen musste {und dies auf holprigen Gassen}, im Winter bei Schnee, Glatteis und grosser Kälte. Und trotz allen Strapazen war es für Jung und Alt eine Gelegenheit gewesen, sich im Dämmerlicht am Brunnen ein Stelldichein zu geben. So hatte auch die Zeit vor dem Jahre 1868 seine Reize gehabt. Heute ist alles so bequem und einfach: man braucht nur den Hahnen aufzudrehen, um reines und klares Wasser in verschwenderischer Fülle zu haben! Doch möge sich beim Lesen dieser Arbeit der Bürger darauf besinnen, wie und woher sein Trinkwasser kommt, und welche menschliche und technische Schwierigkeiten der Forscher und Fachmann überwinden musste und muss, um jedem Stadtbewohner in den Genuss des kostbaren, lebensnotwendigen Wassers kommen zu lassen!

{Bern, im Januar 1966}

NIEDERSCHLAG BERN

JÄHRLICHE ABWEICHUNGEN VOM MITTELWERT

DEFIZIT ÜBERSCHUSS



SONNENFLECKEN-ZYKLUS ⊙ MAXIMA ⊙ MINIMA

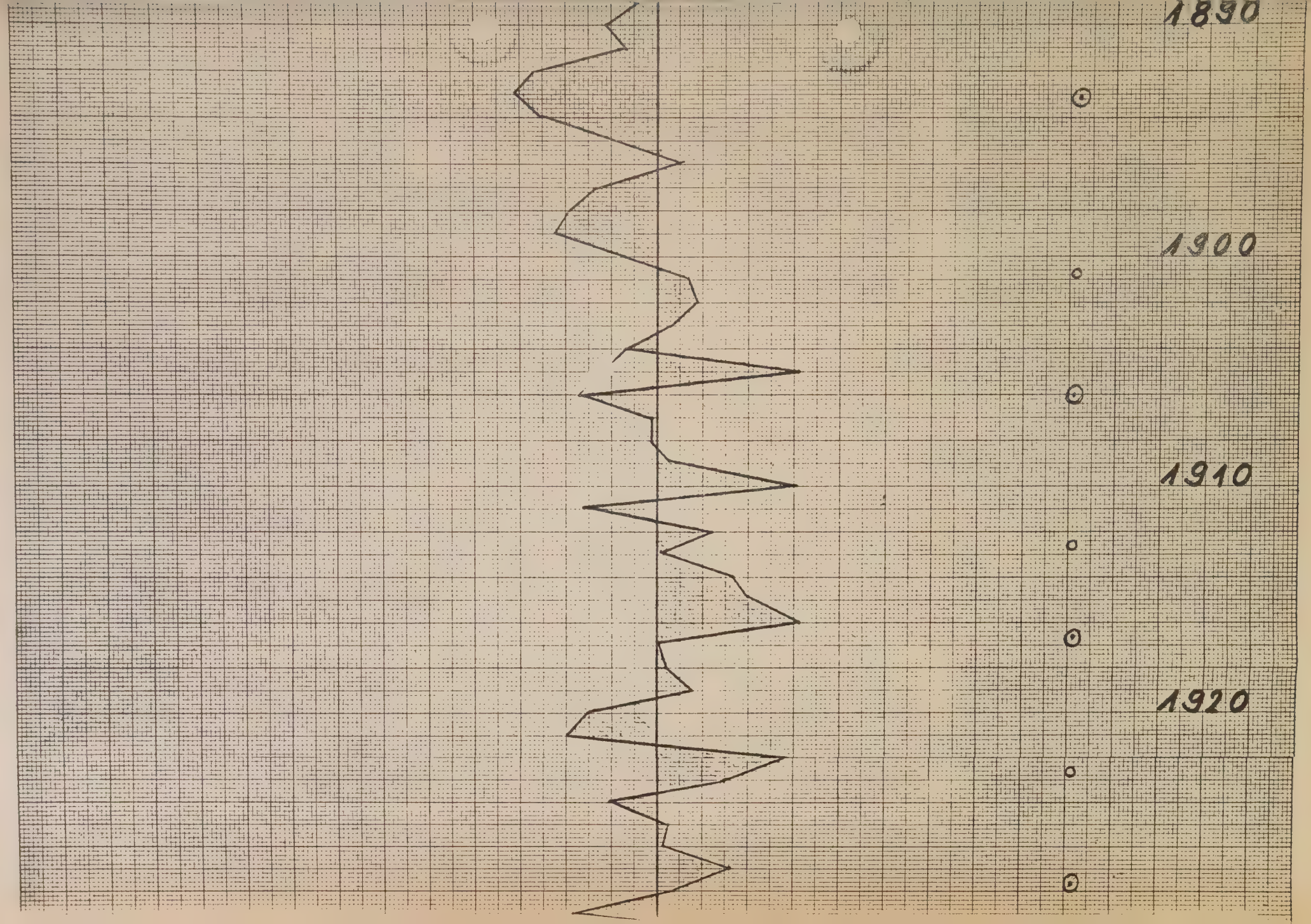
1864

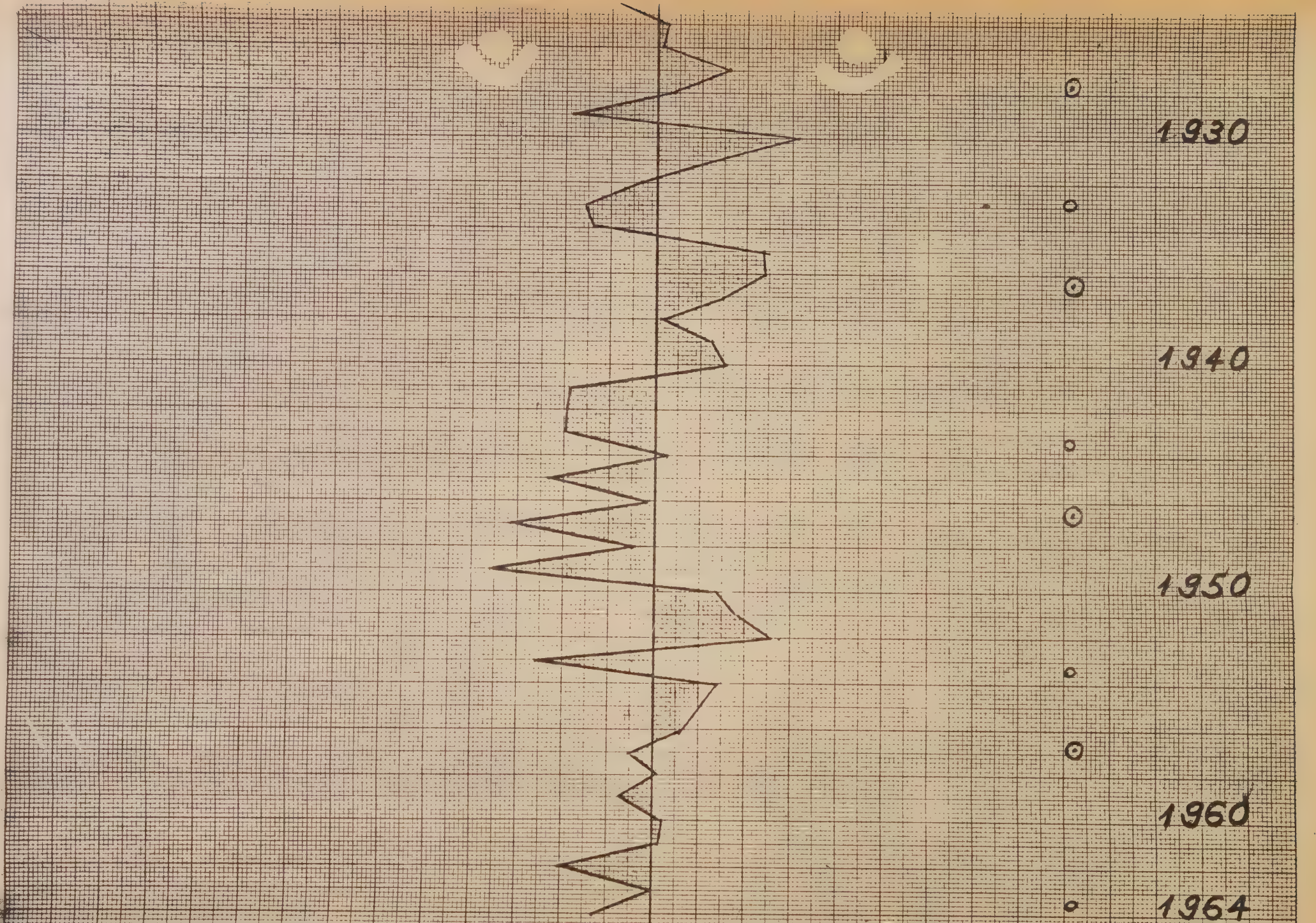
1°

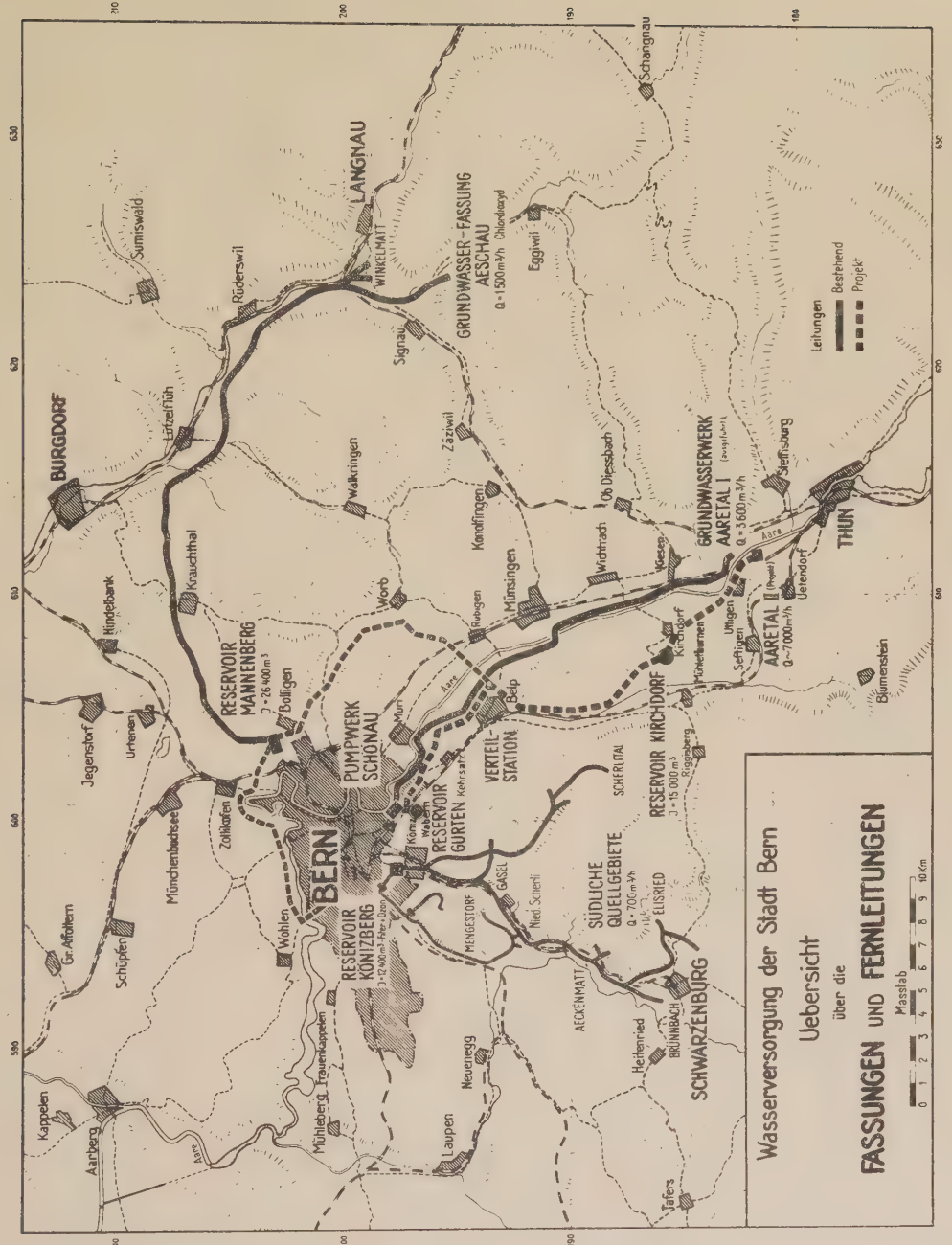
1870

1880

1890


1890
1900
1910
1920


1930
1940
1950
1960
1964



{mit Erlaubnis der WVSB über=
nommen; Stand Frühjahr 1970 }

2. Teil

1. EINLEITUNG ZUM ZWEITEN TEIL

1.1 Beweggründe zur vorliegenden Arbeit

Während der Bearbeitung des historischen Teils der „Wasserversorgung der Stadt Bern" wurde der Verfasser und der leitende Ordinarius, Herr Prof. Dr. Fritz Gygax, mit den neuen Problemen der Wasserversorgung konfrontiert. Die Agglomeration Bern benötigt für die Achtzigerjahre neue Wasserspender, teils weil die alten Fassungen zerfallen und teils weil der Wasserbedarf stark ansteigt. Die städtische Wasserversorgung hat unterdessen rechtzeitig das Gelände bei Uttigen-Uetendorf gesichert und plant dort eine grosse Fassungsanlage. In den Jahren bis 1965 hatte man in diesem Gebiet noch keine hydrologischen Daten regelmässig gesammelt. Es lag nun nahe, dort eine kleine hydrologische Arbeit zu unternehmen, die einerseits auch der Wasserversorgung der Stadt Bern dienen könnte und andererseits als Bestandesaufnahme des Grundwasserruhespiegels für spätere Zeiten Bedeutung erlangen könnte. Peinlich war es für den Schreibenden, dass keine Institution Interesse bekundete, mit finanzieller Unterstützung das Setzen von Beobachtungsrohren zu ermöglichen. Doch brachte das Studium von alten Plänen und Feldmessbüchern aus den Zwanzigerjahren das Gute mit sich, dass ich Kenntnis bekam von Beobachtungsrohren, die bei früheren Sondierungen zum ersten Aaretalwerk Kiesen ins Grundwasser gebohrt wurden. Mit Unterstützung der Wasserversorgung der Stadt Bern gelang grösstenteils deren Reinigung. Zusammen mit zwei alten Sodbrunnen konnten so zwölf Messstellen errichtet werden, die zur Hauptsache vom Schreibenden während zweier Jahre alle drei Tage regelmässig besucht wurden. Es wirkt fast unglaubwürdig im Zeitalter der Stipendien, wenn ich sage, dass über 18 ooo km gefahren und marschiert werden mussten während mehr als tausend Stunden, ohne einen Rappen Entschädigung beziehen zu dürfen! Umso mehr erstaunt und erfreut war ich, dass die umfangreichen Rechnungen der multiplen Regressionen und Varianzanalysen gratis auf der Rechenanlage Gamma 3oS des Staates und der Universität Bern während mehr als $2o^{h}$ durchgeführt werden konnten.

1.2 Problemstellung

In der vorliegenden Arbeit werden die Schwankungen des Grundwasserspiegels im künftigen Fassungsgelände der Wasserversorgung der Stadt Bern untersucht. Es ist {so lautet das Kardinalproblem} der Zusammenhang zwischen den mutmasslichen „unabhängigen" Variablen und den Grundwasserspiegelschwankungen abzuklären. - Die zugehörigen partiellen Fragestellungen heissen:

<> Welche „unabhängige" Variablen sind zu berücksichtigen?

<> In welcher Weise sind diese unabhängigen Variablen mit den Grundwasserpegelwerten zu vergleichen?

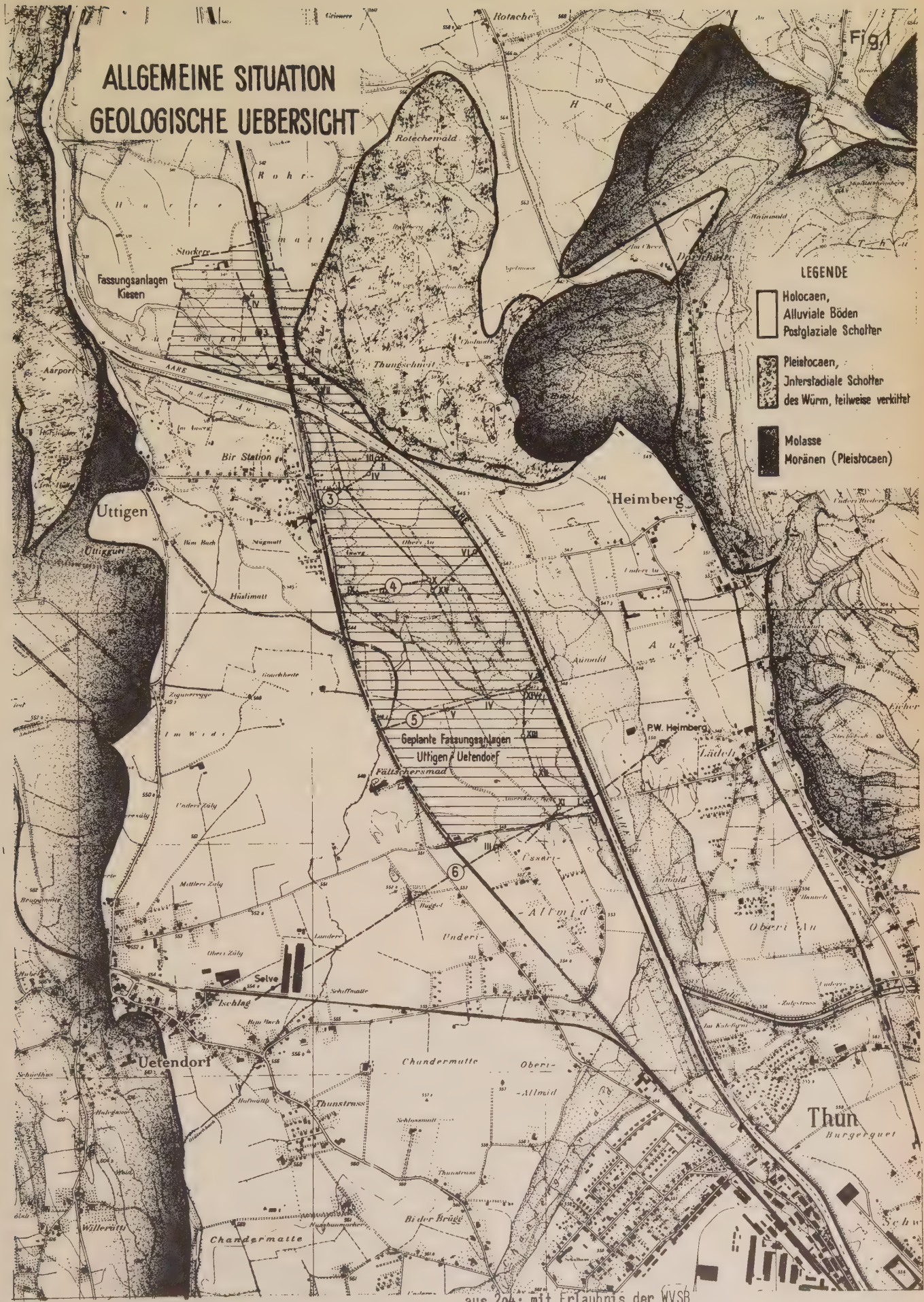
<> Welche Abhängigkeit besteht zwischen dem Grundwasserstand und

- α) dem Vorfluter Aare,
- β) dem Thunersee und
- γ) dem Gebietsniederschlag?

<> In welchem Masse kann man aus den partiellen Schwankungen der verschiedenen Variablen auf das Niveau des Grundwassers schliessen?

Fig. 1

ALLGEMEINE SITUATION
GEOLOGISCHE UEBERSICHT



aus 204; mit Erlaubnis der WVSB

2. DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

2.1 Topographische Uebersicht

Das Untersuchungsgebiet „Auwald" liegt im Aaretal zwischen Thun und Bern; es befindet sich ~ 5 Kilometer NNW von Thun. Im Norden und Osten wird es von der Aare abgegrenzt, im Westen von der Eisenbahnlinie der SBB Thun-Bern und im Süden von der neuen Verbindungsstrasse Uetendorf-Heimberg.

2.2 Geovisuelle Uebersicht

Die Aare fliesst von Thun aus durch eine 28 km^2 grosse Alluvialebene, passiert nach sieben Kilometer ein Talengnis, wo der Lauf {der im allgemeinen von SE nach NW gerichtet ist} eine Richtungsanomalie aufweist; denn nördlich von Heimberg {57o m ü M} verhindert von Osten nach Westen die Molasse der Riedernfluh {792 m ü M} und des Thungschneithubels {611 m ü M}, sowie die verkitteten Schotter, Moränen und Drumlins des Thungschneithubels {593 m ü M} die Fortsetzung des Aarelaufes am Ostrand der Alluvialebene. So wechselt die Aare auf der Linie Heimberg-Uttigen die Talseite im Engnis westlich Thungschneit auf einer Strecke von ~ einem Kilometer. - Das untersuchte Gebiet „Auwald" {55o m ü M} liegt südöstlich dieses Engnisses am Nordrande der Alluvialebene, die im Osten und Westen von Molasse begrenzt wird.

2.3 Tektonische Uebersicht

2o1.o5 Die Ebene Thun-Uttigen durchschneidet das Gebiet der geschuppten subalpinen Molasse; von Süden nach
2o2.15 Norden werden die Fuchsegg-Blumen-Schuppe {Stampien}, die Seftigschwand-Schuppe {Aquitan} und die Zulg-Hombac.-Schuppe {stampien} traversiert.

2.4 Geologie {Talbildende Vorgänge}

Die tiefste Durchtalung von Thun nach Bern erfolgte während der Mindel- und Risseiszeit durch
2o1.29 Gletschererosion. In unserem Raume war das Tal drei bis vier Kilometer breit, und der Talboden hatte etwa
2o4 Kote 4oo m ü M. Beim Eisrückgang entstand ein Aaresee von Hondrich und Wimmis bis Bern mit ~ Kote 63o m ü M.
2o1.31 In diesen wurden Moränen und Schutt abgelagert. Bei den interglazialen Seeablagerungen handelt es sich um
2o3 „Tone von ausserordentlicher Mächtigkeit, zum Teil um Schotter, die in diese Tone eingelagert sind, aber auch
2o1.32 um selbständig auftretende Deltaschotter und Sande". Da die Seetone unter den Münsingenschotter {aus Würm I-II} beim Thungschneit liegen, dürfen sie als präwürm datiert werden.

2o3
2o4.34 Der Gurtenvorstoss in Würm I „erzeugte in den Seeablagerungen eine flache Talrinne". Im Profil von
2o1.35 Thungschneit wies Beck eine Grundmoräne der Würm I Zeit nach, indem er dort kubikmetergrosse Granitblöcke fand.
2o3 Hierauf erfolgte ein Zurückschmelzen des Eises bis ins heutige Thunerseebecken. Die Münsingenschotter im

2o1.36 Thungschneitwald und weiter nördlich sind „teilweise locker, teilweise verkittet, enthalten vereinzelt verkritzelte Geschiebe und gelegentlich wenig mächtige Grundmoränenzwischenlagen, sind also fluvioglazialer Entstehung".

2o1.37 Nach der Ablagerung der Münsingenschotter stiess der Aaregletscher {Würm II} nochmals bis Bern
2o1.4o vor; dann schmolz er in mehreren Phasen ab und liess im Spätwürm die zusammenhängenden Schotterterrassen
2o3 Uttigen-Gerzensee und Thungschneit-Kiesen-Münsingen und die „drumlinartigen Moränen" entstehen. „Die
2o1.4o/41 Schmelzwasser des letzten Eisrückganges durchtalten die eiszeitlichen Schotter in der Talmitte bis auf die
2o3 interglazialen Seeablagerungen hinab".

2o3 „Zuletzt erfolgte von Allmendingen am Ausgang des Glütschbachtales die Bildung des Kanderschuttkegels gegen den See", gegen Thun und gegen Uttigen hin. Der wachsende Schuttkegel lenkte „die Aare oberhalb Uttigen gegen die rechte Talseite {Prallstelle von Thungschneit!}". Von Osten her lieferte die Zulg ebenfalls Kies zur Auffüllung des Talbodens. Bis zur Kanderkorrektion 1 7 1 4 leistete die Kander „mindestens den zehnfachen Beitrag als Zulg, Rotachen und Kiesen zusammen. Infolge der recht einseitigen Be-
2o1.47 2o3 lieferung mit Schotter, dünnt sich die Decke talwärts immer mehr aus".

2.5 Geologie {im Speziellen}

2o4 2o3 2o4 Unter dem Humus finden wir gut durchlässigen Schotter der Kander und Zulg, dessen Mächtigkeit im Mittel zwanzig Meter beträgt. Darunter befinden sich typische Deltaschichten: Sande {deren Mächtigkeit
2o1.59 1 bis 1,5 Meter beträgt}, und anschliessend undurchlässige blaue Seetone der Riss-Würm-Interglazial, deren Mächtigkeit loo Meter und mehr geschätzt wird. Die Molasse als Felsgrund wurde in diesem Raum noch durch keine Bohrung erreicht.

2.6 Hydrogeologie

Das Grundwasserfeld Thun-Uttigen weist eine Fläche von ~ 28 km^2 auf. Die grundwasserführenden Schotter in diesem Becken lagern auf einer mächtigen undurchlässigen Seetonschicht, die am Westrand auf-
2o3 taucht, dort aber von Grundmoränen, Drumlins und fluvioglazialen Vorstossschottern der Spiezerschwankung bedeckt ist, sodass der westliche Beckenrand aus verfestigten Kiesen und Sanden besteht. Am Ostrand tauchen die Seetone auf, sind aber grösstenteils bedeckt durch Gehängeschutt, der sich an der {aus Nagelfluh, Sandstein und Mergel bestehenden} Molasse des Burdigaliens lagert. Der Talriegel, gebildet durch Thungschneithubel und Thungschneitwald, jener aus Molasse und dieser aus Schotter, Moränen und Drumlins, ist im Ganzen
2o4.o9 wasserundurchlässig und somit grundwasserbildend. Der Grundwasserträger selber setzt sich aus 4o % Sand, 3o % Feinkies und 3o % Grobkies { bis 2o Zentimeter Durchmesser} zusammen.

2.7 Hydrologie

Der beschriebene Grundwasserträger wird gespiesen vom Thunersee, von Hang- und Gebietsniederschlägen, vom Vorfluter Aare, von der einfliessenden Zulg, sowie von eventuell unbekannten Grundwasserzuflüssen des ehemaligen Kanderbettes.

2o4.o7 Durch den erwähnten Aufbau des Bodens ist dessen Filterwirkung zur Gewinnung von Trinkwasser gut. „Das geförderte Grundwasser ist klar, bakteriologisch und biologisch einwandfrei. ... Es konnten keinerlei Nachweise einer Infiltration von biologischem und makroskopischem Material von der Aare her erbracht werden. Das Aarebett ist überall praktisch durchlässig, da das Wasser wegen der Vorklärung im Thunersee wenig Schlamm führt und eine wirksame Kolmatierung nicht möglich ist. Auf längeren Strecken findet daher eine intensive Anreicherung des Grundwassers mit Flusswasser und zwar auf eine seitliche Tiefe von 3oo bis 4oo m statt".

2o4.11 Nach den Härteversuchen schliesst man auf eine Aareinfiltration, da das „Landwasser härter und ärmer an Sauerstoff ist als das aareseitige Grundwasser, welches weniger Karbonate, Chloride sowie Nitrate
2o4.12 und mehr Sauerstoff aufweist". Der Flusswasseranteil wird auf „1o - 2o % im Winter bezw. 25 - 5o % im Sommer" angenommen.

Folgende Daten konnte Ingenieur Geiser von der städtischen Wasserversorgung aus Markierungsver-
2o4.19 suchen {Farbe, Isotope} feststellen und berechnen:

Temperatur °C	9,5 - 11,5	Fe	o,o1 mg
pH - Wert	7,3 - 7,7	NO_3	5 - 2o mg
elektr. Leitfähigkeit $\omega^{-1}cm^{-1}$	43o	SiO_3	3 - 6 mg
Trockenrückstand	-	Cl	4 - 14 mg
Karbonathärte franz. °	13 - 25	SO_4	26 - 37 mg
Gesamthärte	16 - 3o	O_2 gelöst	5 - 7 mg
Ca	65 - 85 mg	$KMnO_4$	1,6- 3,5 mg
Mg	7 - 13 mg		

2o4.13

Durchlässigkeit	2½ - 3 cm/s		
Wasserspiegelgefälle	1 : 57o im Winter		1 : 5oo im Sommer
Mächtigkeit des GW-Trägers	14½ m im Winter		16½ m im Sommer
nutzbares Porenvolumen	23,8 - 28,4 %	Breite des GW-Trägers	3,2 km
Durchflussmenge minimal	22oo l/s im Winter;	gemittelt	28oo l/s im Sommer
Fliessgeschwindigkeiten			
oben	17 m/d im Winter		2o m/d im Sommer
unten	33 m/d im Winter		37 m/d im Sommer

Von den südlich gelegenen Dörfern {Heimberg, Steffisburg, Thun und Uetendorf} werden dem Grundwasser 7oo L/s entnommen. Infolgedessen kann die natürliche Grundwassermenge auf {28oo + 7oo} = 35oo L/s geschätzt werden. - Die Durchflussmenge Q wurde berechnet aus dem Produkt vom nutzbaren Porenvolumen mal Profilquerschnittsfläche mal Fliessgeschwindigkeit = $\{o,25\cdot(3ooo\cdot16,5)\cdot2o\}:\{864oo\} = 2,8625\ m^3s^{-1} = Q$.

2o4.14 Gemäss den Angaben der Versuchsanstalt Giessen {siehe Taschenbuch für Gas- und Wasserfach} verteilt sich der mittlere Jahresniederschlag von looo mm wie folgt:

		lokal Einzugsgebiet	total Grundwasser
- als Oberflächengewässer	5o %		
- es versickern	37,5 %	333 L/s + 4o4 L/s	= 737 L/s ;
- es verdunstet (Verluste)	12,5 %		

Infolgedessen spenden die N i e d e r s c h l ä g e a n d a s G r u n d w a s s e r ~ 7oo L/s oder 2o % von 35oo L/s. Die Herkunft des restlichen Grundwassers { 28oo L/s oder 8o %} stammt vom Thunersee, vom Vorfluter und von weiteren Zuflüssen unbekannter Spender.

Diese Daten, die der praktische Hydrologe aus Vergleichsannahmen geschätzt hat, aus den Grundwasserspiegelschwankungen und den „unabhängigen Variablen" durch ein mathematisch-statistisches Modell zu berechnen, ist eine wichtige Teilaufgabe der nun folgenden Untersuchung.

3. MESSDATEN; MESSSTELLEN; AUSWAHL DER MESSREIHEN

3.0 Betrachtungen, Probleme, Voraussetzungen

Da keine Geldmittel zur Verfügung standen und infolgedessen keine exemplarische Versuchsanlage mit wohlverteilten Beobachtungsrohren und den zugehörigen Messinstrumenten aufgebaut werden konnte, war ich sowohl auf die vorhandenen Messmöglichkeiten, als auch bei der Auswertung auf statistische Methoden angewiesen, um "Rückschlüsse" (= Regressionen) von den Wasserspendern { Vorfluter, See, Niederschläge } auf das Grundwasser zu ziehen.

Die vorhandenen Messmöglichkeiten umfassten die alten (aus den Zwanzigerjanren) in Karten eingezeichnete Beobachtungsrohre im Auwald und die Messgeräte {für den Aarestand die} der Wasserversorgung der Stadt Bern, {für die Niederschläge die} der Meteorologischen Zentralanstalt und {für den Seepegel diejenige} des eidgenössischen Amtes für Wasser und Flussbau.

Für die vorliegende Arbeit wurden Messreihen (Stichproben) aufgenommen für die abhängige Variable (für das Grundwasser) und für die sogenannten "unabhängigen" Variabeln. Es kann nicht bestritten werden, dass die Messreihen aus { Aare, See, Niederschlag } mathematisch voneinander abhängig sind; denn sowohl der Seepegel, als auch der Aarestand sind abhängig von den Niederschlägen im homologen Gebiet und denjenigen im Einzugsgebiet. Ferner dürfte die Variabilität der entsprechenden Verdunstungswerten und der Retensionsvermögen in diesen Gebieten ebenfalls die Aare- und Seewerte beeinflussen. Ebenso wird auch die willkürliche Schleusenregulierung des Thunerseeausflusses in den Vorfluter den Aarestand beeinflussen, wie auch - indirekt proportional zum Aarestand - den Seepegel.

Obschon weder die empirischen Messreihen (Beobachtungswerte), noch ihre Fehler (Abweichungen der gemessenen zu den errechneten Werten), mathematisch unabhängig voneinander und normal verteilt sind, ist eine statistische Untersuchung durch die Regressions- und Korrelationsrechnung zulässig, sofern wir bei der Beurteilung und bei den Schlussfolgerungen die nötige Vorsicht walten lassen.

Zusammenfassen setzen wir voraus, dass

<1.> die Messreihen { Aare, See, Niederschlag ...} voneinander stocchastisch unabhängig und normal verteilt seien,

<2.> die Fehler $\{(y_i - \hat{Y}_i)\}$ unabhängig und normal verteilt sind,

<3.> alle Stichproben repräsentativ für die zugehörige Grundgesamtheit seien.

Für die folgenden Betrachtungen erkläre ich unter den vorangehenden Voraussetzungen die Grundwasserwerte als Menge der abhängigen Variabeln und die Aare-, See- und Niederschlagswerte als die Menge der unabhängigen Variabeln.

Die Datenaufnahme erfolgte, da alle Variabeln Funktionen der Zeit sind, aequitemporär alle drei Tage. Die Frage, was für Funktionen der Zeit die Variabeln sind, wollte und konnte ich nicht beantworten; nach den graphischen Darstellungen liess sich auch kein eindeutiger T r e n d feststellen. Eine gewisse Periodizität lässt sich von Jahr zu Jahr nicht abstreiten, doch sind die Abweichungen so beträchtlich und die Beobachtungsdauer (zwei Perioden) zu kurz, als dass von einem nichtstationären Prozess (Zeitreihe) - bei dem die absolute Zeit zu berücksichtigen wäre - gesprochen werden darf. Es wäre ebenfalls für die Problemstellung wertlos, von der Hypothese eines stationären Prozesses auszugehen und durch Autokorrelation zweier Messreihen derselben Grundgesamtheit, die zeitlich verschoben sind, eine Abhängigkeit zu ermitteln; denn aus vorhergehenden Variabeln - z.B. der Grundgesamtheit Aare - will man nicht auf nachfolgende Werte schliessen, da Trugschlüsse (besonders bei Extremstellen) zu häufig auftreten würden. Es bestünde jedoch die Möglichkeit, wenn die Abhängigkeit nachgewiesen worden wäre, diese vorhergehenden Werte als neue Unabhängige einzubeziehen. Ich habe von dieser Möglichkeit aus praktischen und hydrologischen Erwägungen abgesehen. Sie würde uns zu Markoxprozessen 1. oder höherer Ordnung führen, sofern vorangehende Messwerte tatsächlich zusätzliche wichtige Informationen liefern würden. Der Praktiker möchte hier nur wissen, in welcher elementarer Art und mit welcher Bestimmtheit der Grundwasserstand von den Hauptfaktoren abhängt, und er möchte dadurch in die Lage versetzt werden, aus einigen Stichproben aus der Menge der unabhängigen Variabeln auf die Grundwasserhöhe schliessen zu können.

Von grossem Wert für die Güte der Resultate waren die täglichen Messungen der Unabhängigen; denn durch Interpolationen - wie geschickt sie auch gewählt sein mögen - verschlechtern sich die Resultate zusehends.

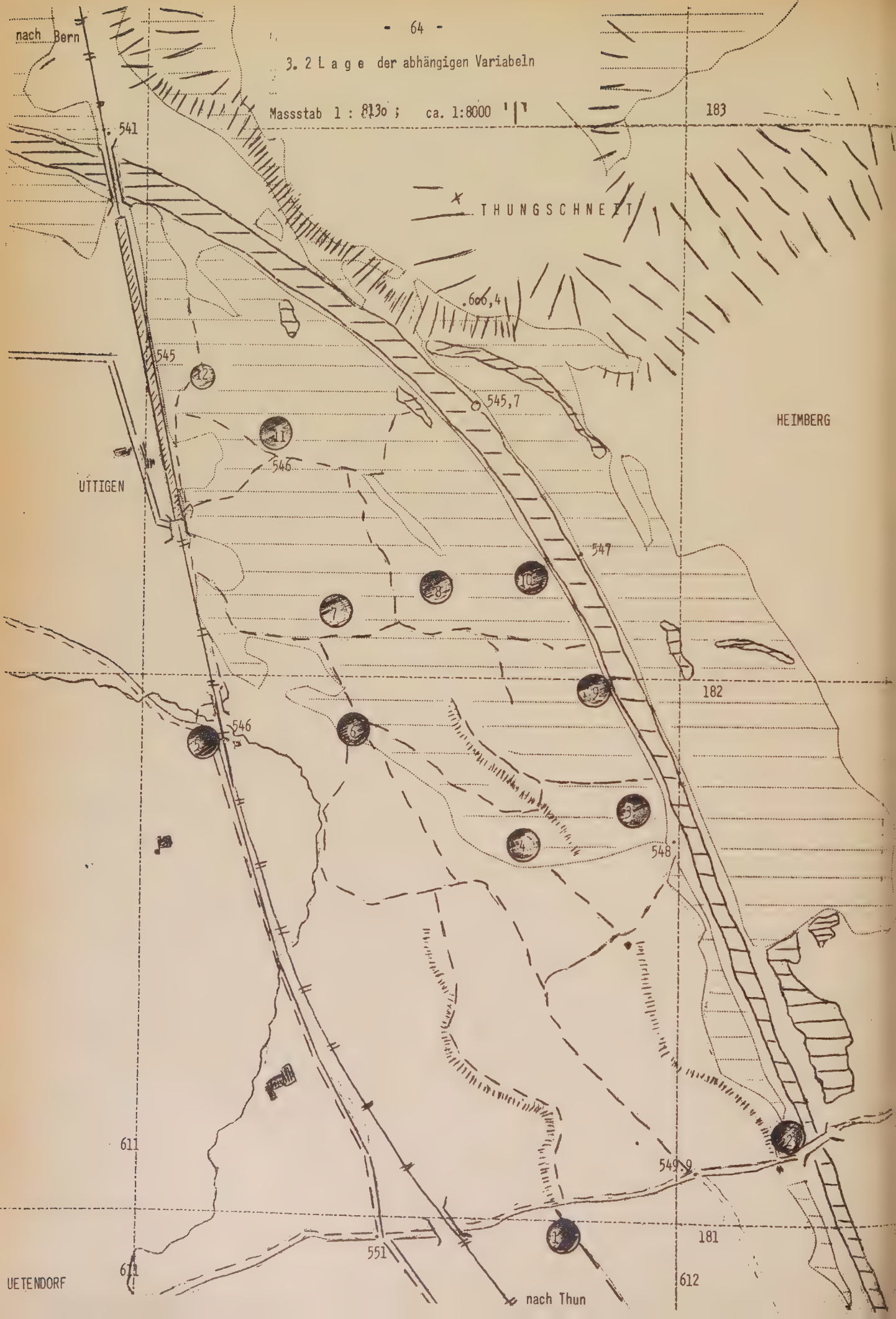
3.1 M e s s s t e l l e n d e r a b h ä n g i g e n V a r i a b e l n

Wünschenswert wäre für meine Untersuchungen ein gleichmässig verteiltes Netz von Beobachtungsrohren gewesen, das vor allem südlich des Auwaldes hätte liegen sollen. Aus früher erwähnten Gründen musste ich froh sein, überhaupt jahrzehnte alte Beobachtungsrohre vorzufinden.

Am 12. Oktober 1965 konnte ich mit einem Angestellten der Wasserversorgung der Stadt Bern neun Beobachtungsrohre im Auwald in Betrieb setzen. Zwei Sodbrunnen { 1 und 5}, sowie ein Grundwasserschacht { 2 } wurden in die Messreihen einbezogen. In der Zeit vom N o v e m b e r 1 9 6 5 bis D e z e m b e r 1 9 6 7 wurden a l l e d r e i T a g e M e s s u n g e n durchgeführt, insgesamt über 2 4 0 Messungen. Die Grundwasserspiegelablesungen erfolgten mit einem Meterband - das mit einem Benetzungsstab verlängert war - auf halbe Zentimeter genau. Störende Einflüsse, die den Wert der Aufzeichnungen mässig verminderten, sind teilweise bei den zwei Sodbrunnen { 1 und 5 } wegen Pumpenbetriebs festzustellen.

3.2 Lage der abhängigen Variabeln

Massstab 1 : 8130 ; ca. 1:8000



3.3 Die Faktoren zur Beurteilung des Grundwasserherkommens

Als unabhängige Variable kamen der Vorfluter Aare, die Gebietsniederschläge und der Thunersee, der ca. fünf Kilometer oberhalb des Fassungsgeländes liegt, primär in Betracht; sekundär wurde überlegt, inwiefern weitere Variable, wie die östlichen und westlichen Hangniederschläge, die Verdunstung das Grundwassergeschehen beeinflussen könnten. Da für die Kander - die ehemals durch dieses Gebiet floss - keine geeignete und zuverlässige Messstelle gefunden werden konnte, musste diese Variable unberücksichtigt bleiben.

Ein Blick auf die Karte belehrt uns, dass die westlichen Hangniederschläge des Gurnigelgebietes bis zur Linie Seftigen - Uebeschi durch die Gürbe entwässert werden, und dass einerseits der westlich an das Grundwassergebiet anstossende Hang durch die gleichen Niederschläge beregnet wird wie im Gebiet selbst und dass andererseits die Retension (Rückhaltevermögen) dort unbedeutend ist für die Mächtigkeit des vorliegenden Grundwasserträgers. Das Problem, inwieweit die östlichen Hangniederschläge im Einzugsgebiet der Zulg berücksichtigt werden sollten, wurde negativ beurteilt, teils weil die Regenmessstation bei Schwarzenegg und nicht bei Homberg liegt, teils weil dieses Wasser hauptsächlich durch die Zulg abgeführt wird, die ihrerseits diesen Anteil oberhalb der Vorflutermessstation in die Aare abgibt. Das Retensionsvermögen im Gebiet des Zulgtales, sowie die dortigen Grundwasserverhältnisse wären interessante Themen, die aber den Rahmen dieser Arbeit sprengen würden.

Leider stunden weder spezielle Regenmesser, noch Verdunstungsmesser, zu meiner Verfügung, doch darf in diesem Gebiet ein allgemeiner Richtwert für die Verdunstung - die vorwiegend die Niederschlagsmenge reduziert - beigezogen werden. Der spärliche Graswuchs im oberen Teil des Fassungsgeländes, der streifenförmige "Chandergrienwald" und die Grünflächen der Siedlungszonen gegen den See hin entziehen dem Grundwasser durch die Verdunstung zu wenig Wasser. Ich werde annehmen (s. auch 4.1), dass dem Niederschlag etwa o,125 durch die Verdunstung entzogen wird, dass ½ den Oberflächengewässern und der Kanalisation (s. auch 2.7) zugeführt wird und etwa o,375 ins Grundwasser gelangen.

Die unabhängigen Variabeln werden in dieser Arbeit demzufolge sein: die Aare, der See und die Gebietsniederschläge.

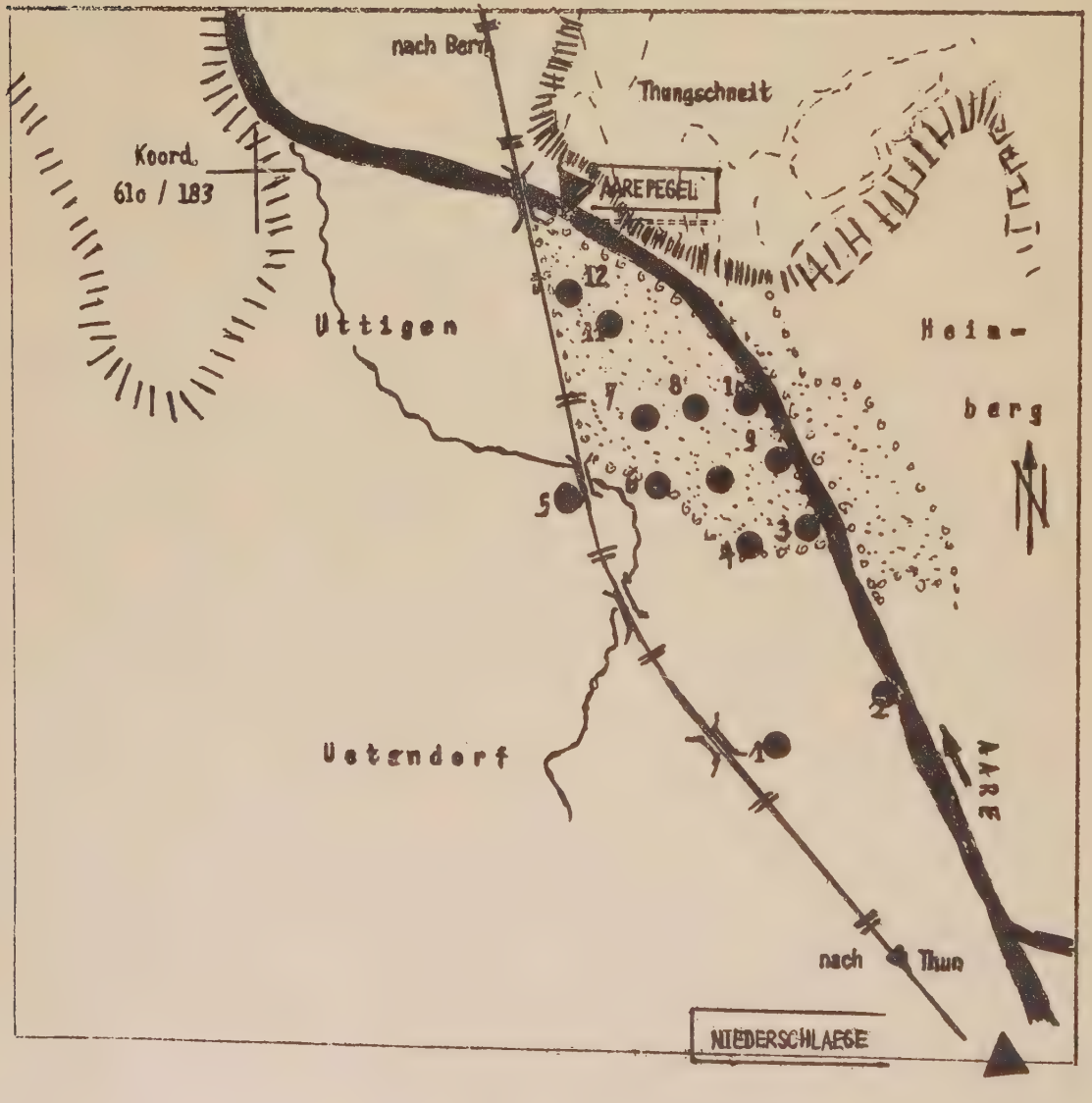
Würde man nun bedenkenlos die aktuellen Werte miteinander vergleichen, so wäre die Untersuchung durch eine dreifache lineare Regression und Korrelation abgeschlossen. Bei Kenntnis der topographischen Lage des Fassungsgeländes und der Bedeutung, der man dem Grundwasserstrom im Aaretal für die Agglomeration der Stadt Bernbeimessen muss, drängt sich die Frage auf, welche Aare-, See- und Niederschlagswerte müssenmit dem aktuellen Grundwasserwert verglichen werden ? Sollte auch der vorangehende Grundwasserwert als unabhängige Variable einbezogen werden (s.3.1) ?

3.4 Messstellen der unabhängigen Variabeln

Der Wasserstand des Vorfluters Aare wird parallel zum Grundwassergebiet - etwas oberhalb der Eisenbahnbrücke Uttigen SBB - von einem Limnigraphen aufgeschrieben. Die Daten konnte ich bei der Wasserversorgung der Stadt Bern einsehen und interpolieren.

Die täglichen Niederschlagsmessungen wurden von dem Portier der Eidgenössischen Munitionsfabrik Thun vorgenommen und stunden mir dort zur Verfügung.

Die Seepegelwerte konnten aus dem hydrologischen Jahrbuch der Schweiz entnommen werden; es handelt sich dabei um tägliche Ablesungen.



3.5 Auswahl der Messreihen

Eine graphische Voruntersuchung (s. Anhang "ad. 3.4"), bei der die Werte der zwölf abhängigen und der drei unabhängigen Variabeln eingetragen wurden, ergab, dass die Dauer der Einflussnahme der Unabhängigen auf das Grundwassergeschehen nicht mehr als acht Tage zurückreicht. Zugehörige Analysen ergaben sogar, dass die Schwankungen zwischen Grundwasser, Aare, See und Niederschlag zeitlich um weniger als fünf Tage variieren.

Es stellte sich als erste Rechenaufgabe die Frage: welche Daten von Aare, See und Niederschlag sind mit dem jeweiligen Grundwasserstand zu vergleichen?

Zu diesem Zwecke wurde nun von allen 24o Messungen der drei Variabeln {Aare, See, Niederschlag} gleitende und teils auch gewichtete Mittel postuliert:

{a}	{b}	{c}	{d}	{e}
x_0	$1/4 \cdot (2x_0 + x_{-1} + x_{-2})$	$1/4 \cdot (x_0 + 2x_{-1} + x_{-2})$	$1/4 \cdot (x_0 + x_{-1} + 2x_{-2})$	$1/3 \cdot (x_0 + x_{-1} + x_{-2})$

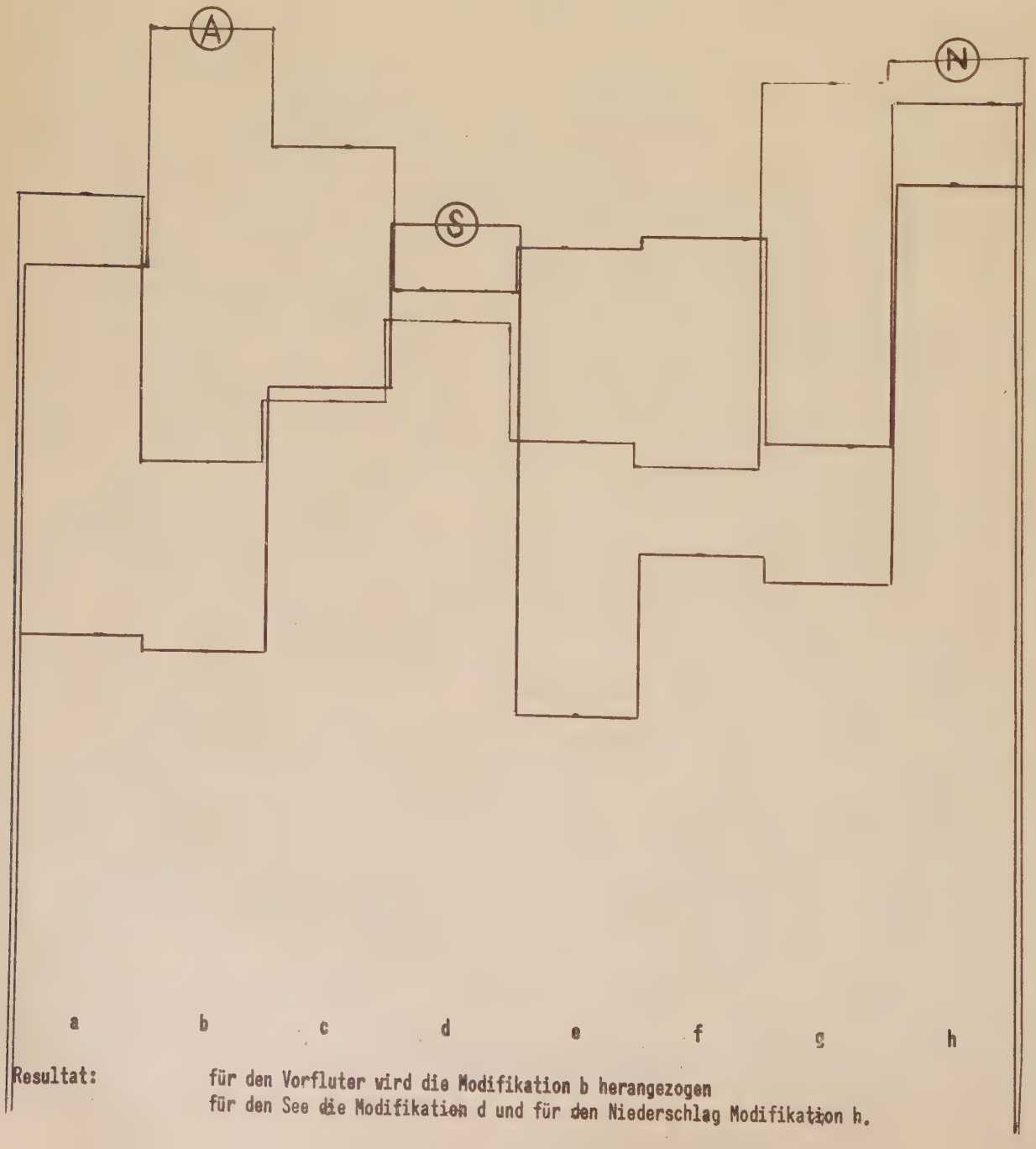
{f}	{g}	{h}
$1/4 \cdot (x_{-1} + x_{-2} + 2x_{-3})$	$1/4 \cdot (x_{-2} + x_{-3} + 2x_{-4})$	$1/6 \cdot (x_0 + x_{-1} + x_{-2} + x_{-3} + x_{-4} + x_{-5})$

Diese umfangreichen Mittelbildungen 12·8·24o wurden in aufwendiger Arbeit mit einer elektrischen Tischrechenmaschine durchgeführt

Unter der Voraussetzung, dass die aktuelle Abhängige y_0 heisse, stellen die Indizes in den obigen Anschriften die Tage in der positiven zeitlichen Folge dar; z.B. wenn x_0 der Stichtag ist, dann bedeutet x_{-1} den vorhergehenden Tag usw. - Um herauszufinden, welche Mittelbildung {a} bis {h} am besten mit dem Grundwasser verglichen werden soll, wird z.B. eine Grundwassermessreihe mit diesen acht gemittelten Reihen nacheinander korreliert. Die Thesen, welcher Mittelwert vorgezogen werden soll, lauten dann:

wenn {a} überwiegt, dann muss die Variable berücksichtigt werden, die gleichzeitig auftritt.
" {b} " " " " " " " , die gleichzeitig auftritt.
" {c} " " " " " " " , die einen Tag vorher auftrat.
" {d} " " " " " " " , die zwei Tage vorher auftrat.
" {e} " " " " " " " , die gleichzeitig, ein und zwei Tage vorher auftraten.
" {f} " " " " " " " , die drei Tage vorher auftrat.
" {g} " " " " " " " , die vier Tage vorher auftrat.
" {h} " " " " " " " , die jetzt, 1, 2, 3, 4, und 5 Tage vorher auftraten.

Diese 3 • 8 • 24o Daten wurden auf Lochkarten gestanzt (s. auch 5.4) und bildeten den Urstapel der unabhängigen Variabeln. - Ziel: Ein erster Rechnungsgang soll uns qualitativ darüber Aufschluss geben, welches gewichtete und gleitende Mittel der einzelnen unabhängigen Variabeln in den Hauptrechnungsgang einzubeziehen sei. Qualitativ deswegen, weil die Gamma 3o einer derart umfangreichen Korrelationsrechnung nicht gewachsen war; das Programm der Gamma 3o war so konzipiert, dass sie vorerst eine einfache, dann zwei-, drei- .... p-fache Korrelation teilweise durchführte. Die jeweils pro Variable zugelassenen acht Möglichkeiten von gewichteten Mitteln oder direkten Stichmessungen wurden bei den Regressionen stufenweise derart errechnet, dass die 3 • 8 Daten in der Ordnung ihrer relativen Bedeutung sukzessive hinzugefügt wurden; dieses schrittweise Hinzufügen oder diese Ordnung der drei mal acht Daten wurden zu einer Rangifizierung (linear) verwendet. Je grösser die Bedeutung der Mittelbildung, umso höher die Rangzahl, die nun untenstehend graphisch abgetragen wurde.

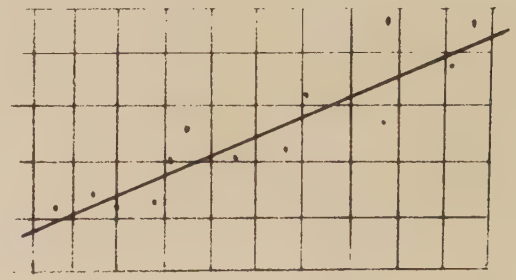


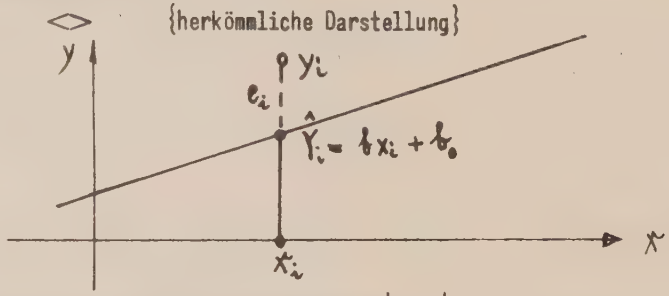
Resultat: für den Vorfluter wird die Modifikation b herangezogen
für den See die Modifikation d und für den Niederschlag Modifikation h.

4. REGRESSION UND KORRELATION

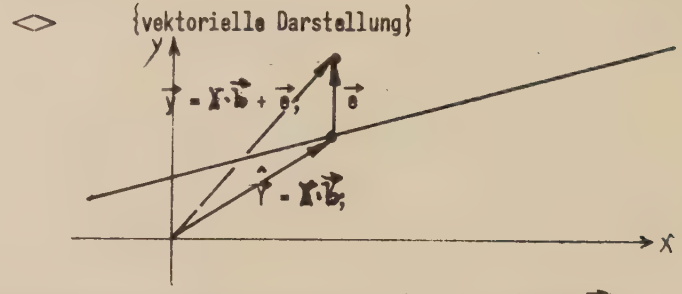
4.1 Problemstellung und Erklärung der einfachen linearen Regression

Gegeben sei eine Stichprobe von N Beobachtungen aus einer zweidimensionalen $\{(X;Y)\}$ - Grundgesamtheit. Die Zahlenpaare $\{(x;y)\}$ können graphisch in einemkartesischen Koordinatensystem dargestellt werden. In unserem Falle werden die Pegelwerte der Aare als unabhängige Variable $\{x_i\}$ und die Grundwasserwerte als abhängige Variable $\{y_i\}$ aufgefasst. Aus dem Bild der Menge der kartesischen Zahlenpaare $\{(x_i;y_i)\}$ schliessen wir, dass es eine Gerade derart geben müsse, dass die Summe der Quadrate aller Abstände unserer Punkte bezüglich der Geraden möglichst klein wird (Prinzip der kleinsten Quadrate). Im Gegensatz zur Definition des "Abstandes" eines Punktes zu einer Geraden, der l o t r e c h t bezüglich der Geraden abzumessen wäre, benutzt man aus praktischen Gründen den "Abstand parallel zur Y - Achse", damit der x_i-Wert sowohl für die beobachteten, wie auch für die errechneten Daten invariant bleibt:





Aus der Skizze ergibt sich der Abstand $|e_i| = y_i - b \cdot x_i - b_0$.



Aus der Skizze ergibt sich der Abstand als $|\vec{e}_i| = |\vec{y} - X \cdot \vec{b}|$.

Bei der Vektordarstellung gilt:

$$\vec{y} := \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix}; \quad \vec{b} := \begin{bmatrix} b \\ b_0 \end{bmatrix}; \quad \vec{e} := \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_N \end{bmatrix}; \quad \text{Matrix } X := \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_N \end{bmatrix}; \quad \Rightarrow \vec{y} = X \cdot \vec{b} + \vec{e};$$

Die Länge eines Vektors - also auch der Abstand $|\vec{e}|$ - wird mittels dem S k a l a r p r o d u k t $\vec{e} \cdot \vec{e}$ berechnet; die Länge ist ein S k a l a r und berechnet sich als W u r z e l aus der S u m m e der P r o d u k t e h o m o l o g e r K o m p o n e n t e n.

<> {herkömmliche Darstellung} <> {vektorielle Darstellung}

4. 2 Bestimmung der unbekannten Koeffizienten $\{ b; b_o \}$ oder des unbekannten Vektors $\vec{b}$.

Wir suchen die genaue Anschrift der Regressionsgeraden

$$\{ \hat{y} = b \cdot x + b_o \mid S\, e_i^2 := \text{Min.} \}$$

Weil die Summe der Abstandsquadrate

$$q_2 := S (y_i - b \cdot x_i - b_o)^2 \quad \Big| \quad \text{wo } \{(x_i; y_i)\} \text{ bekannt und } \{ b; b_o \} \text{ unbekannt sind}$$

ein Minimum werden soll, müssen die partiellen Ableitungen nach b und b_o verschwinden ==>

$$\partial q_2/\partial b := 0 \bigwedge \partial q_2/\partial b_o := 0$$

Die partiellen Ableitungen ergeben:

$$\partial q_2/\partial b_o = -2 \cdot S (y_i - b \cdot x_i - b_o) := 0 \bigwedge$$

$$\partial q_2/\partial b = -2 \cdot S\{x_i (y_i - b \cdot x_i - b_o)\} := 0 .$$

Da sowohl die "Summe einer Summe" gleich der "Summe der Summen der einzelnen Summanden" ist, als auch $\sum_{i=1}^{N} (b_o) = N \cdot b_o$ ==>

$$==> \quad \{(b_o; b) \;/\; Sy_i - b \cdot Sx_i - N \cdot b_o = 0 \bigwedge Sx_i y_i - b \cdot S(x_i)^2 - b_o Sx_i = 0 \}_R$$

$$==> \quad \boxed{\begin{aligned} N \cdot b_o + Sx_i \cdot b &= Sy_i \;; \\ Sx_i \cdot b_o + Sx_i^2 \cdot b &= Sx_i y_i ; \end{aligned}} \quad ==> \{ b_o; b \} \;!$$

Wir suchen die genaue Anschrift der Regressionsgeraden

$$\{ \hat{\vec{y}} = X \cdot \vec{b} \;/\; S|\vec{e}| := \text{Min.} \}$$

Weil der Abstand $|\vec{e}| := \sqrt{\vec{e}' \cdot \vec{e}}$ minimal werden soll, so muss auch dessen Quadrat

$$|\vec{e}|^2 := \vec{e}' \cdot \vec{e} = (\hat{\vec{y}} - X \cdot \vec{b})' \cdot (\hat{\vec{y}} - X \cdot \vec{b}) = \hat{\vec{y}}' \cdot \hat{\vec{y}} - 2\vec{b}' X' \cdot \hat{\vec{y}} + \vec{b}' \cdot X' \cdot X \cdot \vec{b}$$

ein Minimum werden; auf Grund dieser Bedingung muss die erste Ableitung des Skalarproduktes $\vec{e}' \cdot \vec{e}$ nach dem Vektor $\vec{b}$ Null gesetzt werden ==>

$$d/d\vec{b} (\vec{e}' \cdot \vec{e}) = d/d\vec{b} (\hat{\vec{y}}' \cdot \hat{\vec{y}} - 2 \cdot \vec{b}' \cdot X' \cdot \hat{\vec{y}} + \vec{b}' \cdot X' X \cdot \vec{b}) = -2 \cdot X' \cdot \hat{\vec{y}} + 2 \cdot X' X \cdot \vec{b} := 0; \quad \vec{0}$$

$$==> \quad \boxed{(X'X) \cdot \vec{b} = (X' \cdot \hat{\vec{y}})} \quad <==> \quad \hat{\vec{y}} = X \cdot \vec{b} \;;$$

Hierbei bedeuten:

$$(X'X) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \ldots & 1 \\ x_1 & x_2 & x_3 & \ldots & x_N \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ 1 & x_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N & Sx_i \\ Sx_i & Sx_i^2 \end{pmatrix} \hat{=}\; Sx_i^2 - N \cdot (Sx_i)^2 ;$$

$$(X'\vec{y}) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ x_1 & x_2 & x_3 & x_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Sy_i \\ Sx_i y_i \end{pmatrix}$$

Ferner bedeuten die apostrophierten Grössen die transponierten Vektoren oder Matrizen; ihr Wert bleibt unverändert; man erhält sie durch Spiegelung an der Hauptdiagonalen.

<> {herkömmliche Darstellung}

$$\Longrightarrow \quad \boxed{\begin{aligned} N \cdot b_o + Sx_i \cdot b &= Sy_i \;; \\ Sx_i \cdot b_o + Sx_i^2 \cdot b &= Sx_i y_i \;; \end{aligned}}$$

Dieses Gleichungssystem 1^o mit 2 Unbekannten $\{b;b_o\}$ können wir leicht mit der Determinantenform lösen; hierbei gilt: $S_{xx} := S(x_i - \bar{x})^2$ od. $S_{xy} := S(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})$;

$$\Longrightarrow \quad \boxed{b = \frac{\text{Zählerdeterminante}}{\text{Nennerdeterminante}} = \frac{\begin{vmatrix} N & Sy_i \\ Sx_i & Sx_i y_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} N & Sx_i \\ Sx_i & Sx_i^2 \end{vmatrix}} = \frac{N \cdot S_{xy}}{N \cdot S_{xx}} = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \;;}$$

Unter der Annahme, dass $(\bar{x};\bar{y})$ auf der Regressionsgeraden liegt, können wir $(x;y)$ in $y = b \cdot x + b_o$ durch $(\bar{x};\bar{y})$ ersetzen; so erhalten wir den zweiten unbekannten Koeffizienten b_o :

$$\Longrightarrow \quad \boxed{b_o = \bar{y} - b \cdot \bar{x} = \bar{y} - \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \cdot \bar{x}} \;;$$

Zusammenfassung:

Durch Kenntnis der Summe der Abweichungsquadrate S_{xx}, der Summe der gemischten Produkte und des Schwerpunktes $(\bar{x};\bar{y})$ lässt sich die Regressionsgerade eindeutig berechnen:

$$\{\hat{y} = b \cdot x + b_o \;/\; b = S_{xy}/S_{xx} \bigwedge b_o = \bar{y} - b \cdot \bar{x}\}$$

Das Steigungsmass b der Geraden nennt man den Regressionskoeffizienten.

<> {vektorielle Darstellung}

Sowohl die Einheitsmatrix $E := \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$, als auch die Inverse [A quadratisch, A Det. $A \neq 0$] existieren, gemäss der Definition:

$$A^{-1} \cdot A = A \cdot A^{-1} := E \;;$$

Die folgende Inverse ist wichtig:

$$(X' \cdot X)^{-1} = \frac{1}{N \cdot S_{xx}} \cdot \begin{pmatrix} Sx_i^2 & -Sx_i \\ -Sx_i & N \end{pmatrix} \qquad \text{wo } S_{xx} := S(x_i - \bar{x})^2 = Sx_i^2 - \frac{1}{N} \cdot (Sx_i)^2 \;;$$

Die auf S. 217 gewonnene Gleichung $\boxed{(X' \cdot X) \cdot \vec{b} = (X' \cdot \hat{\vec{y}})}$ wird linkseitig mit der zu $(X' \cdot X)$ inversen Matrix $(X' \cdot X)^{-1}$ multipliziert, denn hiermit können wir den gesuchten Vektor $\vec{b}$ isolieren:

$$\Longrightarrow \quad \boxed{\vec{b} = (X' \cdot X)^{-1} \cdot (X' \cdot \hat{\vec{y}}) = \frac{1}{N \cdot S_{xx}} \cdot \begin{pmatrix} Sx_i^2 & -Sx_i \\ -Sx_i & N \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Sy_i \\ Sx_i y_i \end{pmatrix} = \frac{1}{N \cdot S_{xx}} \cdot \begin{pmatrix} (Sx_i^2 \cdot Sy_i - Sx_i Sx_i y_i) \\ (N \cdot Sx_i y_i - Sx_i Sy_i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_o \\ b \end{pmatrix} \;;}$$

Bei dieser Spaltendarstellung von Vektoren können die homologen Glieder (Komponenten) gleichgesetzt werden. Vergleichen wir zweite Zeile am Ende der Gleichungskette mit der Berechnung von "b" in der herkömmlichen Darstellung links, so finden wir unser Resultat bestätigt.

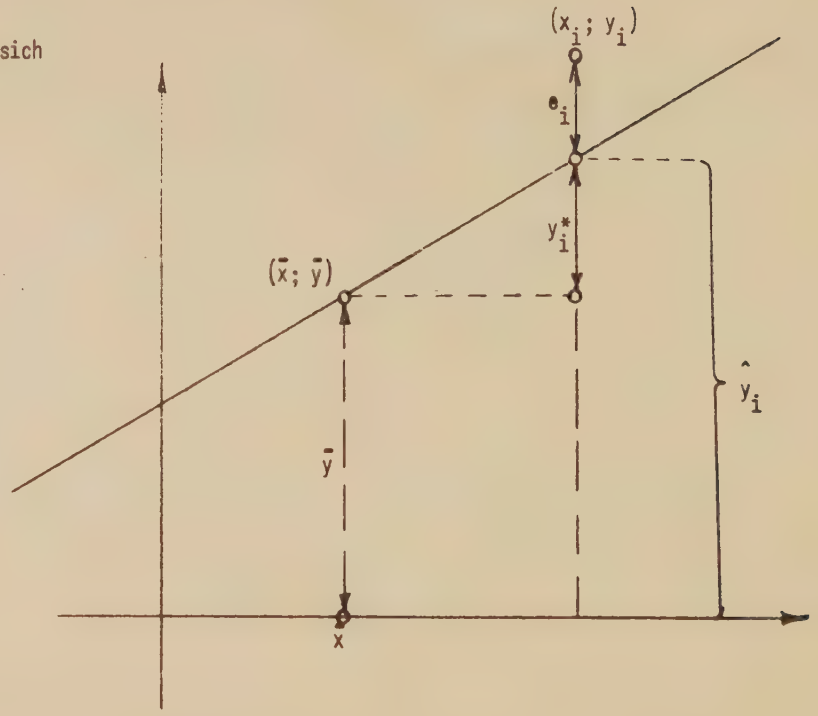
Durch Kenntnis von $\vec{b} = \begin{pmatrix} b_o \\ b \end{pmatrix}$ ist die Regressionsgleichung $\hat{\vec{y}} = \vec{b} \cdot X$ der Zufallsvariabeln $\vec{y}$ bezüglich der Zufallsvariabeln $\vec{x} \in X$ gewonnen.

4.3 Regression und Varianzanalyse

Die Methoden der Streuungszerlegungen lassen sich auch bei dem Regressionsproblem anwenden. Es geht hierbei um die mathematische Beurteilung, ob die gefundene Regressiongerade (~ lineare Funktion ~ lineare Abhängigkeit) überhaupt sinnvoll ist und ob der Einbezug einer neuen Variabeln die Regression wirksam verbessert oder nicht.

Alle vertikalen Abweichungen vom Mittelwert lassen sich in zwei Teile aufspalten:

$$(y_i - \bar{y}) = (\hat{y}_i - \bar{y}) + (y_i - \hat{y}_i) := y_i^* + e_i ;$$



$(\hat{y}_i - \bar{y}) := y_i^*$ bedeutet die Abweichung des berechneten Wertes vom Mittelwert. Da sowohl alle $\hat{y}_i$, als auch $\bar{y}$ sich auf der Regressionsgeraden befinden, kann man sagen:

$q_1 := S(\hat{y}_i - \bar{y})^2$ messe die Veränderlichkeit auf der Regression.

$(y_i - \hat{y}_i) := e_i$ ist die Abweichung oder der Fehler der i-ten Beobachtung vom errechneten Wert. Da y_i meistens nicht "auf", sondern um die Regressionsgerade liegt, sagt man:

$q_2 := S(y_i - \hat{y}_i)^2 = S e_i^2$ misst die Veränderlichkeit um die Regression.

ZIEL: Es ist nun unser nächstliegendes Problem $\{(q_1; q_2)\}$ aus den statistischen Grundgrössen $\{ S_{xx}; S_{xy}; S_{yy}; N; \bar{x}; \bar{y} \}$ herzuleiten.
Im übernächsten Schritt werden wir die vektoriellen Resultate, die die Vektoren $\vec{b}$, $\vec{y}$ und die Matrizen X, X' und Summe Sy_i beinhalten, auf die herkömmlichen Anschriften zurückführen, und somit jene verifizieren.

Voraussetzungen $\hat{y}_i$ = errechneter Wert $= b \cdot x_i + b_o = b \cdot x_i + \bar{y} - b \cdot \bar{x}$ da $\bar{y} = b \cdot \bar{x} + b_o$; $b = {}^{S_{xy}}/_{S_{xx}}$; $S_{xx} := S(x_i - \bar{x})^2$ usw.

Behauptung $q := q_1 + q_2 \quad \langle\!\!\rangle \quad S_{yy} = S\{y_i - \bar{y}\}^2 = S\{\hat{y}_i - \bar{y} + y_i - \hat{y}_i\}^2 \overset{?}{=} S(\hat{y}_i - \bar{y})^2 + S(y_i - \hat{y}_i)^2$?? d.h. wir müssen das Gleichheitszeichen beweisen !

Begründung

$$q := S_{yy} = S\{b \cdot x_i + \bar{y} - b \cdot \bar{x}\}^2 + S\{y_i - b \cdot x_i - \bar{y} + b \cdot \bar{x}\}^2 =$$

$$= S\{b \cdot (x_i - \bar{x})\}^2 + S\{(y_i - \bar{y}) - b \cdot (x_i - \bar{x})\}^2 =$$

$$= b^2 \cdot S(x_i - \bar{x})^2 + S(y_i - \bar{y})^2 - 2 \cdot b \cdot S(y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x}) + b^2 \cdot S(x_i - \bar{x})^2 =$$

$$= \underbrace{b^2 \cdot S_{xx}}_{\underline{\underline{AUF}}} + \underbrace{S_{yy} - 2 \cdot b \cdot S_{xy} + b^2 \cdot S_{xx}}_{\underline{\underline{U\,M}}} =$$

$$= \underbrace{\frac{S_{xy}^2}{S_{xx}^2} \cdot S_{xx}}_{\underline{\underline{AUF}}} + \underbrace{S_{yy} - 2 \cdot \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \cdot S_{xy} + \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}^2} \cdot S_{xx}}_{\underline{\underline{U\,M}}} =$$

$$= \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}} + S_{yy} - \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}} = q_1 + q_2 = q = S_{yy} \text{ wzbw.}$$

$$\boxed{AUF} + \boxed{U\,M} - \boxed{I\,N\,S\,G\,E\,S\,A\,M\,T} \; ;$$

Die vektoriellen Anschriften für q_1 und q_2 lauten:

$$\boxed{q_1 = \vec{b}' \cdot X' \cdot \vec{y} - {}^1/_N \cdot (Sy_i)^2} = \vec{b}' \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \ldots 1 \\ x_1 & x_2 & x_3 \ldots x_N \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_N \end{pmatrix} - {}^1/_N \cdot (Sy_i)^2 = \vec{b}' \cdot \begin{pmatrix} Sy_i \\ Sx_i y_i \end{pmatrix} - {}^1/_N \cdot (Sy_i)^2 = (b_o \; b) \cdot \begin{pmatrix} Sy_i \\ Sx_i y_i \end{pmatrix} - {}^1/_N \cdot (Sy_i)^2 =$$

$$= b_o \cdot Sy_i + b \cdot Sx_i y_i - {}^1/_N \cdot (Sy_i)^2 = (\bar{y} - b \cdot \bar{x}) \cdot Sy_i + \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \cdot Sx_i y_i - {}^1/_N \cdot (Sy_i)^2 = \frac{Sy_i}{N} \cdot Sy_i - \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \cdot \frac{Sx_i}{N} \cdot Sy_i + \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \cdot (S_{xy} + {}^1/_N \cdot Sx_i Sy_i) - {}^1/_N \cdot (Sy_i)^2 =$$

$$= \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}} = q_1 \; ; \quad \text{(wzzw.)}$$

$$q_2 = \vec{y}'\cdot\vec{y} - \vec{b}'\cdot X'\cdot\vec{y} = (y_1\ y_2 \dots y_N)\cdot\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{pmatrix} - (b_o\ b)\cdot\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_N \end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{pmatrix} = Sy_i^2 - (b_o\ b)\cdot\begin{pmatrix} Sy_i \\ Sx_iy_i \end{pmatrix} = Sy_i^2 - b_o\cdot Sy_i - b\cdot Sx_iy_i =$$

$$= Sy_i^2 - {}^1/_N\cdot(Sy_i)^2 - \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}} = S_{yy} - \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}} = q_2\ ;$$ (wzzw.)

Im Folgenden sollen nun die M a s s e für die K o r r e l a t i o n und die V a r i a n z a n a l y s e bereitgestellt werden. Wir fassen zusammen:

$q := S_{yy}$ gibt die g e s a m t e Summe der Abweichungsquadrate der y_i von $\bar{y}$ wieder.

$$q := \vec{y}'\cdot\vec{y} - {}^1/_N\cdot(Sy_i)^2 = (y_1 \dots y_N)\begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_N \end{pmatrix} - {}^1/_N\cdot(Sy_i)^2 = Sy_i^2 - {}^1/_N\cdot(Sy_i)^2 = S_{yy}\ ;$$ (WZZW)

Der A n s a t z zur Streuungszerlegung lautet:

$q := q_1 + q_2$ = S der Abweichungsquadrate a u f der Regression + S der Abweichungsquadrate u m ...

Es wäre ideal, wenn alle $y_i = \hat{y}_i$ wären, d.h. alle Messwerte auf der Regressionsgeraden liegen würden und so von den x_i streng linear abhängig wären. Da dies bei einer stocchastischen Verbundenheit der Merkmale nicht zutrifft, so sucht man in der Varianzanalyse ein Mass zur Beurteilung der Güte des linearen Zusammenhangs.

Ein 1. Mass für die Güte der Regression gewinnen wir dadurch, dass wir verlangen, dass

$q_2 := q - q_1$ $\quad q_2 \to 0$ strebt $\dashrightarrow$ $q - q_1 := 0$ oder $q := q_1 \dashrightarrow 1 := \frac{q_1}{q} \dashrightarrow$ $\quad q_2 := \vec{y}'\cdot\vec{y} - \vec{b}'\cdot X'\cdot\vec{y}\ ;$

$\dashrightarrow$ im idealen Fall : $\frac{S_{xy}^2}{S_{xx}\cdot S_{yy}} := 1$; da dies bei einer stocchastischen Verbundenheit nicht möglich ist, so soll das

Bestimmtheitsmass $B := \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}\cdot S_{yy}} \to 1$ streben bei einer guten Verbundenheit (Abhängigkeit).

$$B := \frac{q_1}{q} = \frac{\text{SQ "auf"}}{\text{SQ "insges."}} = \frac{\vec{b}'\cdot X'\cdot\vec{y} - {}^1/_N\cdot(Sy_i)^2}{\vec{y}'\cdot\vec{y} - {}^1/_N\cdot(Sy_i)^2}\ ;$$

Wertevorrat: $0 \leqslant B \leqslant 1$; $(100\cdot B)$ gibt an, wieviele % der Variabilität der y_i sich durch lineare Regression auf Unterschiede in den x_i zurückführen lassen, oder B gibt den Anteil der Summe der Quadrate an, die aus den Unterschieden in der andern Variabeln erklärt werden kann.

$B \sim r^2$; Aus $B := \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}\cdot S_{yy}} \wedge b_{y\cdot x} = S_{xy}/S_{xx} \wedge b_{x\cdot y} = S_{xy}/S_{yy} \dashrightarrow$

$$B = b_{y\cdot x}\cdot b_{x\cdot y} \sim r^2\ ;$$

r Korrelationskoeffizient

Ein 2. Mass, das wir beim Vergleichen von Regressionen aus verschiedenen Stichproben benutzen, erhalten wir, indem man die Masse der Veränderlichkeit durch die zugehörigen Freiheitsgrade normiert. Die durch die Freiheitsgrade FG dividierten Summenquadrate SQ heissen wir Durchschnittsquadrate DQ.

$$v_o := \frac{q_1/_1}{q_2/_{N-2}} = \frac{q_1}{q_2/_{N-2}} ;$$

Es ist leicht einsehbar, dass q_2 (d.h. die Abweichungen der empirischen Werte von den errechneten Werten) so klein als möglich bei einer guten Korrelation sein sollten, besonders im Vergleich zu q_1 : wenn q_1 gross ausfällt, weiss man, dass dies von den $\hat{y}_i$ herrührt, die weit weg vom Schwerpunkt liegen; dann aber werden auch die e_i grösser. Deswegen ist bei einer guten Uebereinstimmung das Verhältnis v_o besonders gross und soll die Tabellenwerte der sog. F-Verteilung gut überschreiten.

In der folgenden Tabelle sind die Terme für die Variationen zusammengestellt:

	S Q	F G	D Q	F - W E R T
a u f der Regr.	$q_1 = \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}} = b\cdot(S x_i y_i - N\cdot\bar{y}\bar{x}) = \vec{b}'\cdot X'\cdot\vec{y} - N\cdot\bar{y}^2$	1	q_1	$v_o := \frac{DQ\ "a\ u\ f"}{DQ\ "u\ m"} = \frac{q_1}{q_2/_{N-2}}$;
u m die Regr.	$q_2 = S_{yy} - \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}} = \vec{y}'\cdot\vec{y} - \vec{b}'\cdot X'\cdot\vec{y}$	N - 2	$\frac{q_2}{N-2}$	
um den Mittelwert i n s g e s a m t	$q = S_{yy} = \vec{y}'\cdot\vec{y} - N\cdot\bar{y}^2$	N - 1		

Freiheitsgrade F G : Die Summe der Quadrate um den Mittelwert oder i n s g e s a m t benötigt (N - 1) unabhängige Werte { die Summe aller N Abweichungen $(y_i - \bar{y})$ ergibt ja Null }, hat demnach (n - 1) Freiheitsgrade, während die Summe der Quadrate a u f der Regression $S(\hat{y}_i - \bar{y})^2 = b^2 \cdot S(x_i - \bar{x})^2$ durch eine lineare Funktion (ersten Grades) dargestellt werden kann, die somit e i n e n Freiheitsgrad besitzt.

Nullhypothese Die Zerlegung $q := q_1 + q_2$ benutzen wir für die Prüfung, ob die Regression als linear angesehen werden darf.(s.LInder S. 159:) "Wenn der Regressionskoeffizient β der Grundgesamtheit g l e i c h N u l l ist, und wenn die Einzelwerte y normal verteilt sind, so ist das Verhältnis der Durchschnittsquadrate "a u f der Regression" und "u m die Regression" verteilt wie F, mit $n_1 = 1$ und $n_2 = N-2$. Wenn wir v_o bilden, können wir die Hypothese prüfen, ob b gleich Null ist. Wenn $F > F_{1;N-2}$, dann wird die Hyp. verworfen."

Tabellarische Zusammenstellung der Streuungszerlegung:

	SQ	FG	DQ	F-Wert
"a u f"				
" u m "				
insgesamt				

4.4 Problemstellung und Betrachtungen zur mehrfachen linearen Regression

Wir haben gesehen, wie das Problem des Einpassens einer Geraden in eine Punktmenge des kartesischen Koordinatensystems durch die Methode der kleinsten Quadrate unter Verwendung von Vektoren und Matrizen (s. 4.1) gelöst werden kann. Die Verwendung dieser Elemente $\{\vec{y}; \ldots X;..\}$ hat den Vorteil, dass bei der mehrfachen linearen Regression die genau gleichen Anschriften verwendet werden können, wie bei der zweifachen. Es ist dabei zu sagen, dass bei Einbezug neuer Variabeln der Rechenaufwand sich stark vermehrt. Bei mehr als drei Variabeln ist es ratsam, einen Rechenautomaten heranzuziehen.

Vorausgesetzt, wir betrachten ein Modell, welches in der Form

$$\vec{y} = X \cdot \vec{\beta} + \vec{\varepsilon}$$

geschrieben werden kann, wobei

$\vec{y}$ ein (N x 1) Beobachtungsvektor
X eine (N x p) Matrix bekannter Daten
$\vec{\beta}$ ein (p x 1) Koeffizientenvektor
$\vec{e}$ ein (N x 1) Fehlervektor ist und

sowohl der Erwartungswert von $\vec{e} \sim \vec{\varepsilon}$ verschwindet, als auch die Varianz von $\vec{\varepsilon}$ gleich sigmaquadrat ist, so sind die Elemente von $\vec{\varepsilon}$ unkorreliert. Wenn also $E(\vec{\varepsilon}) = 0$, so ist $\vec{y} = X \cdot \vec{\beta} = E[\vec{y}]$

Das Fehlerquadrat ist dann $\vec{\varepsilon} \cdot \vec{\varepsilon} = (\vec{y} - X \cdot \vec{\beta})' \cdot (\vec{y} - X \cdot \vec{\beta}) = \vec{y}' \cdot \vec{y} - 2\vec{\beta}' \cdot X' \cdot \vec{y} + \vec{\beta}' \cdot X' \cdot X \cdot \vec{\beta}$.
Das kleinste Fehlerquadrat von $\vec{\beta}$ ist der Wert $\vec{b}$, sofern das Fehlerquadrat $\vec{\varepsilon} \cdot \vec{\varepsilon}$ minimalisiert wird; d.h. die Ableitung nach $\vec{\beta}$ des obenstehenden Ausdrucks wird Null gesetzt und gleichzeitig $\vec{\beta} \sim \vec{b}$ gesetzt.

So erhalten wir die Normalgleichung

$$(X' \cdot X) \cdot \vec{b} = X' \cdot \vec{y} \quad \Longrightarrow \begin{pmatrix} N & Sx_i \\ Sx_i & Sx_i^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_o \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Sy_i \\ Sx_i y_i \end{pmatrix} .$$

Wenn

$$(X' \cdot X) \cdot \vec{b} = X' \cdot \vec{y}$$

p unabhängige Komponentengleichungen enthält, so ist $(X' \cdot X)$ eine nichtsinguläre Matrix, und es existiert somit eine dazugehörige Inverse $(X' \cdot X)^{-1}$. In diesem Falle kann die Normalgleichung - nach $\vec{b}$ isoliert - geschrieben werden:

$$\vec{b} = (X' \cdot X)^{-1} \cdot X' \cdot \vec{y} .$$

Die Lösungen von $\vec{b}$ haben folgende Eigenschaften:

1.) Es gibt einen Schätzwert von $\vec{\beta}$ welcher die Fehlerquadrate $\vec{\varepsilon} \cdot \vec{\varepsilon}$ möglichst klein hält unabhängig von jeglichen Verteilungseigenschaften der Fehler. Es besteht nicht die Voraussetzung, dass die Fehler $\vec{\varepsilon}$ normalverteilt sein müssen um die Schätzwerte von $\vec{\beta}$ zu erhalten, aber später ist die Annahme der Normalverteilung vorausgesetzt, um z.B. t- oder F-Tests durchzuführen, oder um die Vertrauensbereiche zu berechnen, die sich ihrerseits auf die t- oder F - Verteilungen stützen.

2.) Die Elemente von $\vec{b}$ sind lineare Funktionen der Beobachtungswerte $\{ y_1; y_2; y_3; \dots ; y_N \}$. Sofern die Beobachtungswerte frei sind von systematischen Fehlern, liefern sie unabhängig von der Häufigkeitsverteilung der Fehler Schätzwerte von $\vec{\beta}$, die eine minimale Varianz haben.

3.) Wenn die Fehler unabhängig und die $\vec{\epsilon} \sim N(0; \text{sigmaquadrat})$, dann ist $\vec{b}$ der h ö c h s t w a h r s c h e i n l i c h s t e Schätzwert für $\vec{\beta}$; d.h. $\vec{\epsilon}$ gehorcht einer N-dimensionalen mehrfachen Normalverteilung mit einem Erwartungswert von $\vec{\epsilon}$, $E\{\vec{\epsilon}\} = \vec{o}$ und mit einer Varianz-Kovarianz-Matrix $V(\vec{\epsilon}) = E \cdot \sigma^2$, wo E die Einheitsmatrix darstellt. Die höchstwahrscheinlichste Funktion dür die Stichprobe $\{y_i\}$ ist in diesem Falle definiert als

$$\frac{1}{(\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi})^n} \cdot e^{-\vec{\epsilon}' \vec{\epsilon} / 2\sigma^2}$$

4.5 Mehrfache Regressionsgleichung und Varianzanalyse

Das Problem für die Regression lautet ja: suche die unbekannten Komponenten des Vektors $\vec{b}$ für den Regressionsgleichungsansatz: $\hat{\vec{y}} = X \cdot \vec{b} \sim \vec{y} = X \cdot \vec{B} + \vec{\epsilon}$ unter der Bedingung, dass $|\vec{\epsilon}| = \sqrt{\epsilon' \cdot \epsilon} :=$ Minimum werde.

Die Herleitung der Formeln zur Bestimmung der unbekannten Komponenten von $\vec{b}$ ist in der Umwandlung der folgenden Vektorgleichung ersichtlich:

$$\begin{aligned} \vec{y} &= X \cdot \vec{b} \quad ; \quad /\cdot X' \\ X' \cdot \vec{y} &= X'X \cdot \vec{b} \quad ; \quad /\cdot (X'X)^{-1} \\ (X'X)^{-1}(X'\vec{y}) &= (X'X)^{-1} \cdot (X'X) \cdot \vec{b} \\ (X'X)^{-1}(X'\vec{y}) &= \vec{b} \; ; \end{aligned}$$

(Für die Bildung der Matrizen und der zugehörigen Inversen s. 3. 1).

hierbei bedeuten

$$(X'X) = \begin{pmatrix} N & Sx_1 & Sx_2 & \cdots & Sx_p \\ Sx_1 & Sx_1^2 & Sx_1x_2 & \cdots & Sx_1x_p \\ Sx_2 & Sx_1x_2 & Sx_2^2 & \cdots & Sx_2x_p \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ Sx_p & Sx_px_1 & Sx_px_2 & \cdots & Sx_p^2 \end{pmatrix}$$

Die mehrfache Varianzanalyse löst die Aufgabe, ob der Einbezug einer neuen unabhängigen Variabeln überhaupt sinnvoll ist. Die zugehörigen Anschriften lauten:

21. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1)$ linear

$\hat{Y} =$ ____ x_1; B= ____ ; r= ____ ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	$\vec{b}' \cdot X' \cdot \vec{y} - N\bar{y}^2$	1	$\vec{b}' X' \vec{y} - N\bar{y}^2$	
Einzelwerte um	$\vec{y}' \cdot \vec{y} - \vec{b}' X' \vec{y}$	$N-2$	$(\vec{y}'\vec{y} - \vec{b}' X' \vec{y}) : (N-2)$	
insgesamt	$\vec{y}' \vec{y} - N\bar{y}^2$	$N-1$		

31. Varianzanalyse bezüglich x /x

$\hat{Y} =$ x x ; B = ____ ; R = ____ ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b	$\vec{b}' X' \vec{y} - N\bar{y}^2$	1		
zus.bez.b /b	Differenz	1		
auf der Rg	$\vec{b}' X' \vec{y} - N\bar{y}^2$	2		
einzelwerte um	$\vec{y}' \vec{y} - \vec{b}' X' \vec{y}$	$N-3$		
insgesamt	$\vec{y}' \vec{y} - N\bar{y}^2$	$N-1$		

2. Varianzanalyse bezüglich x /x

$\hat{\vec{y}} = X \cdot \vec{b}$; x ; B = $\frac{\sum b_i S_{iy}}{S_{yy}}$; R = $\sqrt{B}$;

	SQ	FG	DQ	F-We
bezügl.b_1	S_{1y}^2 / S_{11}	1	—	
zus.bez.b_2 /b_1	Differenz	1		
auf der Rg	$\sum_1^2 b_i S_{iy}$	2	$\frac{1}{2}\sum_1^2 b_i S_{iy}$	aus.
Einzelwerte um	Differenz	$N-3$	$\frac{1}{N-3}\cdot$ Differenz	aus.
insgesamt	S_{yy}	$N-1$		

"bez. b_1" bildet bildet einen Teil der Summe der Quadrate der Regressionswerte, die $b_1 S_{1y} + b_2 S_{2y}$ beträgt. Der Unterschied zwischen den Zahlen {("auf" der Rg) - (bez. b_1)} = $= \{(b_1 S_{1y} + b_2 S_{2y}) - (S^2_{1y}/S_{11})\}$ gibt an, um wieviel die Summe der Quadrate der Regressionswerte erhöht wurde durch den Einbezug der Veränderlichen x_2. Der zugehörige F_1 - Wert beurteilt dann auch die Sinnhaftigkeit oder die Bedeutung von x_2 für die Regression. Wir sagen auch, der F_1-Wert prüfe die Hypothese, ob der Regressionskoeffizient b_2 s i g n i f i k a n t oder z u f ä l l i g von Null abweiche. Der F_2 - Wert gibt Aufschluss über die Sinnhaftigkeit der mehrfachen linearen Regression.

Die dreifache Streuungszerlegung wurde in meiner Arbeit wie folgt aufgebaut:

	SQ	FG	DQ	F-Werte
üglich b	$b^T x^T y - N \cdot \bar{y}^2$	1	$b^T x^T y - N\bar{y}^2$	Dimension 1!
ötzlich bezüglich b /b	Differenz Δ_1	1	—	
üglich b ;b	$b^T x^T y - N\bar{y}^2$	2	—	Dimension 2!
ätzlich bezüglich b /b ;b	Differenz Δ_2	1	Differenz Δ_2	
der Regression	$b^T x^T y - N\bar{y}^2$	3		Dimension 3!
zelwerte um die Regression	Differenz Δ_3	$N-4$	$\frac{1}{N-4} \cdot \Delta_3$	
gesamt	$y^T y$	$N-1$		

	SQ	FG	DQ	F-Werte
üglich b	S_y^2/S_m	1	—	
ötzlich bezüglich b /b	Δ_1	1	—	
üglich b ;b	$\sum_1^2 b_i S_{iy}$	2	—	
ätzlich bezüglich b /b ;b	Δ_2	1	Δ_2	
der Regression	$\sum_1^3 b_i S_{iy}$	3	$\frac{1}{3}[\sum_1^3 b_i S_{iy}]$	
zelwerte um die Regression	Δ_3	$N-4$	$\frac{1}{N-4} \cdot \Delta_3$	
gesamt	S_{yy}	$N-1$	—	

5. VORSTUDIEN UND PRAKTISCHE RECHENARBEITEN

5.1 Vorstudie 1925-26

Aus vierzig Jahre alten Feldmessbüchern und Limnigraphenstreifen konnte ich über 240 Grundwasser-, Aare-, See- und Niederschlagszahlen aus den Jahren 1925 und 1926 meines Grenzgebietes entnehmen.

Es war Aufgabe der V o r s t u d i e abzuklären, in welchem Masse die externen Niederschläge die Grundwasserschwankungen zusätzlich erklären und, ob die Aare - wie es einige Hydrologen behaupten - einen so dominanten Einfluss auf das Grundwassergeschehen ausübt oder nicht.

Ich füge hier einen E x k u r s bei, wie die m i t t l e r e H a n g h ö h e des unmittelbaren Einzugsgebietes, dessen F l ä c h e und die Fläche des gesamten Grundwassergebietes abgeschätzt wurden:

Zur Berechnung der mittleren Hanghöhe wurden die direkten, an das Schotterfeld anstossenden Hänge einbezogen. Zwölf Messungen verteilen sich in folgenden Richtungen bezüglich dem "Unteren Chandergrien":

in südlicher Richtung 3
in westlicher Richtung 4
in östlicher Richtung 5.

Die Gründe zur Bevorzugung der östlichen Hänge sind:

1. regenreicher
2. Nach Gutachten von Dr. Beck existiert ein beträchtlicher Grundwasserstrom von Richtung Rabbenfluh - Glockental - Heimberg {s. Gutachten Dr. Beck für die Trinkwasserversorgung der Gemeinde Heimberg 1921}.

Ober Chandergrien	592 562	3o	577
Wasserflue	63o 578	62	6o9
Hasliholz	624 568	56	596
Lengenbüelwald	676 558	118	617
Steinhölzli	645 556	89	6o1
Fronholz	653 552	1o1	6o3
Hubel Uttigen	6o6 544	62	575
Winterhalten	62o 564	56	592
Buechwald	79o 564	113	677
Hubel	8o1 583	1o9	692
Stutz	732 638	94	685
Rabbenflue	863 57o	147	717
	Summe der mittleren Höhen		7641
	M i t t e l		636 m ü.M. ==>

Die m i t t l e r e H a n g h ö h e beträgt 6 3 0 m ü.M.

Die m i t t l e r e B o d e n h ö h e beträgt im GW-Gebiet 5 4 3 m ü.M.

Die F l ä c h e des t o t a l e n GW-Gebietes {Uttigen-Thun-Thierachern-Steffisburg} 3o km^2 ; wegen natürlichen Wasserverlusten bringe ich $^1/_6$ des Gebietes in Abzug, so dass die e f f e k t i v e G r u n d w a s s e r f l ä c h e 25 km^2 gesamthaft betrage (s. Gutachten Dr. Beck 1947 für die Wasserversorgung der Stadt Bern).

Schätzungsweise sind 8o% des GW-Gebietes H a n g f l ä c h e n 2o km^2.

Diese Messungen sollten dazu dienen, eine Prognose über den möglichen Wert und Ausgang meiner Arbeit zu stellen. Die zweifachen Regressions- und Korrelationsrechnungen führte ich mit einer elektrischen Tischrechenmaschine durch, wobei ich jeweils in die folgenden drei Blätter die Resultate in die Randspalte links eintrug:

EINFACHE LINEARE REGRESSION und KORRELATION für [ ] = f { }

Blatt Nr. 01

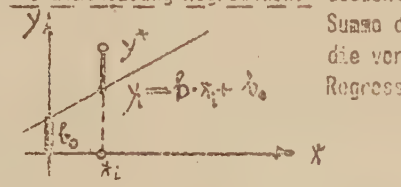
Aufgabe der Regression: Art des Zusammenhangs zwischen den Merkmalen.
Aufgabe der Korrelation: Grad des Zusammenhangs zwischen den Merkmalen

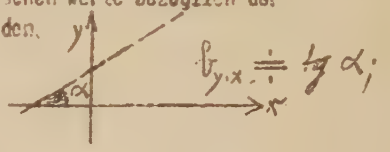
1. Einfache, Quadrat- und Produktsummen; Stichprobenumfang N

S_{x_i}, S_{y_i} — dienen zur einfacheren Berechnung der in 2. gesuchten Grössen, die ihrerseits die Elemente der Ausgleichrechnung nach dem Prinzip der kleinsten Quadrate darstellen.

$S_{x_i^2}$, $S_{y_i^2}$, $S_{x_i y_i}$

Problemstellung Regression: Gesucht ist eine Gerade oder lineare Funktion derart, dass die Summe der Quadrate der Differenzen zum Durchschnitt oder anschaulicher, die vertikalen Abstände der empirischen Werte bezüglich der Regressionsgeraden ein Minimum werden.





N — Anzahl der Wertepaare, die untersucht wurden.

2. Quadrat- und Produktsummen der Abweichungen vom Durchschnitt

$S_{xx} = S\{(x_i - \bar{x})^2\}$
S_y
$S_{xy} = S\{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\}$

Aus rein praktischen Gründen werden die Quadrate und nicht etwa die Absolutbeträge der Abweichungen benutzt; denn so erhält man einfachere Rechnungen und Resultate.

3. Durchschnitte, Standardabweichungen und Korrelationskoeffizient r

$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot S\{x_i\}$
$s_x = \dots \rightarrow = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot S_{xx}}$

$\bar{y} = \frac{1}{N} \cdot S\{y_i\}$
$s_y = \dots \rightarrow = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot S_{yy}}$

$\{\bar{x};\bar{y}\}$ ist Element oder „Schwerpunkt" der Regressionsgeraden. Die Standardabweichungen geben uns das Intervall an - vorausgesetzt, dass es sich um eine Normalverteilung handelt - $\bar{x} - s < x_i < \bar{x} + s$, in dem sich ca. 68% aller Messwerte befinden. Die Intervallgrenzen sind zugleich Wendestellen der „Gaussschen Glockenkurve".

$r = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y} = \frac{\text{Kovarianz}}{\text{Prod. d. Std.dev.}} \; / \; -1 < r < +1;$

Der Korrelationskoeffizient r ist eigentlich kein Abhängigkeitsmass schlechthin; wohl aber ein quantitatives Mass der LINEAREN Abhängigkeit!

4. Regressionskoeffizient und Nullpunktskoordinate

$b_{y \cdot x} = s_{xy} / s_x^2 \; / \; -\infty < b < +\infty;$ ist der Steigungsfaktor der Regressionsgeraden und gibt an, um wieviel y im Durchschnitt zunimmt, wenn x um 1 wächst.

$b_0 = \bar{y} - b_{y \cdot x} \cdot \bar{x};$ Ordinate für $x = 0$.

5. Regressionskoeffizient bei Vertauschen der Variabeln und das Bestimmtheitsmass B

Das Bestimmtheitsmass B gibt den Anteil der Summenquadrate SQ an, die aus den Unterschieden der andern Variabeln erklärt werden kann.

$b_{x \cdot y} = s_{xy} / s_y^2$ — Kovarianz / Varianz d. y²

$B = r^2 = \dots = \frac{s_{xy}^2}{s_x^2 \cdot s_y^2}; \; / \; 0 < B < 1;$

Das Bestimmtheitsmass ist gleich dem Produkt der Regressionkoeffizienten $B = b_{y \cdot x} \cdot b_{x \cdot y}$; Je enger der lineare Zusammenhang der beiden Variabeln ist, umso grösser ist das Bestimmtheitsmass B; bei totaler Abhängigkeit ist $B = 1$.

Blatt Nr

6. Varianzen und Kovarianzen , die rechnerischen Elemente der Statistik

$s_x^2 = {}^1/_{N-1} \cdot S_{xx}$ d.h. wir verstehen unter der Varianz die mittlere quadratische Abweichung vom Mittelwert.

$s_{x,y} = {}^1/_{N-1} \cdot S_{xy}$ d.h. wir verstehen unter der Kovarianz das Produkt der linearen Abweichungen vom Mittelwert und die Division durch die Freiheitsgrade (N-1) bedeutet die Normierung.

s_x^2
s_{xy}
s_y^2

Die Varianzen und Kovarianzen erlauben die Berechnung der meisten statistischen Grössen, die uns interessieren bei der Streuungszerlegung, Regression und Korrelation; sie bilden auch die Elemnte der meisten Tests.

7. Elemente der Varianzanalyse

$q_1 = b_{x \cdot y} \cdot S_{xy} = \frac{s_{xy}^2}{s_y^2} \cdot$

q_2

$q = q_1 + q_2 ;$

$q_2/_{N-1} ; \quad q_2 = S_{xx} - q_1 ;$

$v_o = \frac{q_1}{q_2/_{N-2}} ;$

Bei dieser Varianzanalyse geht es darum, zu testen, ob die betrachtete Regression tatsächlich als l i n e a r angesehen werden darf. Hierzu ist es notwendig, dass alle y_i, die zu demselben x_r gehören, in eine Gruppe zusammengefasst werden. Die Rechnung erfolgt gesondert über ein separates Programm Stat.2o3 A + B , wo die Zahlenpaare nach Gruppen geordnet eingegeben werden müssen.

q_1 und q_2 sind hier angegeben nach Linder S. 172; die p lol rechnet aber nach Kreyszig nach folgenden Anweisungen:

$q_1 = (N-1) \cdot b^2 \cdot s_x^2 = (N-1) \cdot s_{xy}^2 / s_x^2$; $q = S_{yy}$ und $q_2 = q -$

8. Varianzanalyse

als Test der Hypothese $\beta = 0$ gegen die Alternative $\beta > 0$. Wenn $v_o < c$ aus der F-Verteilung mit {1; N-2} Freiheitsgraden (Kreyszig S. 4o8/4o9), so wird die Hypothese angenommen, sonst verworfen.

Signifikanzzahl α = ; $c = \{ \quad \}$;

9. Varianzanalyse

dient der Untersuchung, ob die Linearität der Regression angenommen werden darf. Test beruht auf dem Gedanken, dass die Abweichungen von der Regressionsgeraden nicht zu gross sein dürfen im Verhältnis zur Abweichung der Werte einer Gruppe von ihrem jeweiligen Mittelwert.

Testgrösse V_o = Abweichung der Durchschnitte von der Regressionsgeraden / Abweichung der y-Werte vom zugehörigen Mittelwert d.Gruppe

VARIATION	FG	Quadratsumme	Durchschnittsquadrat
Auf der Rg	. . .	. . . . .	. . . . .
Abweichung v.d.	. . .	. . . . .	. . . . .
Insgesamt	. . .	. . . . .	. . . . .

VARIATION	FG	Quadratsumme	D'quadrat
Auf der Rg	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Abweichung v.d.	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Insgesamt	. . . . .	. . . . .	. . . . .

VARIATION	FG	SQ	DQ
Auf d.RG	1	q_1	q_1
Um d.Rg	N-2	q_2	$q_2/_{N-2}$
Insgesamt	N-1	q	

VARIATION	FG	SQ	DQ
Auf d.Rg	r - 1	$q_1 = \sum_i n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2$	$q_1/_{r-1}$
Um die Rg	N-r	$q_2 = \sum\sum (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$	$q_2/_{N-r}$
Insgesamt	N - 1	$q = q_1 + q_2$	

wobei die Indizes: i = Nr der der Gruppe von 1 bis r
j = Nr. der Elemente einer Gruppe von 1 bis n_i ;

10. Test beim Regressionskoeffizienten $b_{y\cdot x}$

Blatt Nr. 03

Der Regressionskoeffizient $b_{y\cdot x}$ ist für uns kein statistisches Mass, das die Güte der Stichprobe beurteilt; der Regressionskoeffizient $b_{y\cdot x}$ gibt uns an, wieviel y im Durchschnitt zunimmt, wenn x um 1 wächst, oder anders ausgedrückt, $b_{y\cdot x}$ ist der Steigungskoeffizient derjenigen Geraden, die einerseits durch den Punkt $\{\bar{x}; \bar{y}\}$ geht und anderseits sich mit einem Minimum quadratischer Abweichungen in den Punkteschwarm $\{(x_i; y_i)\}$ einpasst. - Dieser Test will uns zeigen, ob $b_{y\cdot x}$ signifikant oder nur zufallsbedingt von 0 (überhaupt keine Abhängigkeit) abweicht. Vorgehen: aus Tafel 8 Kreyszig / ein Wert der t-Verteilung / entnommen bei einer zu bestimmenden Signifikanzzahl α^* ; wenn nun der berechnete Wert $t_{ob} < c$ ist, so wird die Nullhypothese angenommen, dass unser $b_{y\cdot x}$ nur zufallsbedingt von 0 abweicht; anderseits weicht t_{ob} signifikant von 0 ab.

11. Test beim Korrelationskoeffizienten r

Fragen wir nach dem Z u s a m m e n h a n g zweier Grössen $\{(x_i; y_i)\}$ ungeachtet ihrer Reihenfolge (x & y vertauschbar), so sprechen wir von der K o r r e l a t i o n zweier Variabeln. Der Quotient aus der Kovarianz durch das Produkt der Varianzen der 2 Variabeln liefert den Koeffizienten r / $-1 < r < +1$. Behauptung: die Stichprobenelemente $(x_i; y_i)$ liegen genau dann auf der Regressionsgeraden (totale Abhängigkeit), wenn $r = +1$ oder $r = -1$ ist. Die folgende Nullhypothese testet r wiederum dahin, ob r zufallsbedingt oder (Alternative) r signifikant von 0 abweicht. Vorgehen: Wähle Signifikanzzahl $\alpha^* =$; bestimme aus der t-Verteilung (Tafel 8 Krey) $c =$ und vergleiche mit t_{or}. Wenn $t_{or} < c$, dann besteht keine Abhängigkeit und wenn $t_{or} > c$, dann Annahme der Alternative. Merke: erst das Bestimmtheitsmass B erlaubt es mit dem Anteil der Summe der Quadrate, auf die Unterschiede der andern Veränderlichen zu schliessen.

$$t_{ob} = s_x \cdot \sqrt{(N-1)\cdot(N-2)} \cdot b / \sqrt{a}$$

$$t_{or} = r \cdot \sqrt{N-2} / \sqrt{1-r^2} \quad ; \text{ MIT } (N-2)\text{FG};$$

$$a = (N-1)\cdot(s_y^2 - b^2 \cdot s_x^2);$$

$$z_o = \tfrac{1}{2} \cdot \ln\left\{ {}^{1+r}/_{1-r} \right\};$$

z_o ist eine Transformation der r-Werte nach Fisher

$$c = \begin{cases} 1{,}645 \text{ für } \alpha^* = 0{,}9 \\ 1{,}96 \text{ für } \alpha^* = 0{,}95 \\ 2{,}576 \text{ für } \alpha^* = 0{,}99 \end{cases}$$

$$a = c / \sqrt{N-3} \quad ;$$

$z_o - a =$

$z_o + a =$

Test für das Bestimmtheitsmass B findet sich bei Linder S. 182, der leicht zu berechnen ist aus unsern Daten.

12. Konfidenzintervall beim Korrelationskoeffizienten

$$r_1 = \tgh(z_o - a) \quad \text{untere Grenze}$$

$$r_2 = \tgh(z_o + a) \quad \text{obere Grenze}$$

das Konfidenzintervalles für r

Die Stichprobenverteilung von PEARSON-Korrelation folgt nicht der Normalverteilung. Um die Verlässlichkeit von r zu prüfen, müssen wir eine Transformation in z-Werte vornehmen, die standardisiert sind. Oben wird vorerst der Sicherheitsbereich für z_o bestimmt und links wird er auf die r - Werte zurücktransformiert.

Je nach Annahme der Signifikanzzahl α^* können wir sagen, dass der Korrelationskoeffizient r* der Grundgesamtheit mit einer Wahrscheinlichkeit von $\{1 - \alpha^*\}\cdot 100$ % in dem oben ausgerechneten Intervall $\approx r_1 < r^* < r_2 \approx$ liegt.

13. Kommentar

Die zur Verwendung gelangten Daten finden sich im Anhang dieser Arbeit, da zu befürchten ist, dass diese Zahlen - die doch immerhin den Grundwasserstatus vor 4o Jahren wiedergeben - verloren gehen könnten. Bei ihrer Kenntnis ist es bei den heutigen Rechenmöglichkeiten jederzeit leicht, die gewünschten Resultate oder Vergleiche zu ermitteln. - Ich füge bei, dass die Werte der abhängigen Variabeln durch lineare Interpolation, diejenigen der unabhängigen Variabeln AARE durch quadratische Interpolation und des NIEDERSCHLAGES durch eine spezielle Anschrift berechnet wurden.

Die Resultate der Vorstudie ergaben, dass kein wesentlicher Einfluss der externen Gebietsniederschläge auf die Grundwasserschwankungen nachgewiesen werden konnte. Der vom praktischen Hydrologen behauptete dominante Einfluss des Vorfluters wurde bestätigt; es ist deswegen nicht so, dass die Hypothese der Kolmatierung des Aarelaufes angenommen werden darf, es sei denn, es könnten hydrostatische Druckwirkungen von dem Vorfluter auf das Grundwasser nachgewiesen werden. Die Frage, ob nicht auch das Grundwasser von der Seespiegelhöhe des sich ca. in 5 km entfernten Thunersees abhängt, tauchte hier auf, und muss deswegen in der Hauptarbeit berücksichtigt werden.

5.2 Nivellierung

Obschon die absoluten Höhen des Grundwasserspiegels keine Bedeutung auf die Resultate der Korrelation (Grad des Zusammenhangs der Variabeln) haben, musste ich die absoluten Höhen der Beobachtungsrohre "Oberkant" ausnivellieren, um die Linien der Höhen gleichen Grundwasserstandes zeichnen zu können. Die Feldmessungen wurden anfangs Februar 1 9 6 7 durchgeführt. Die Nivellementebeziehen sich auf den Triangulationspunkt bei der neuen ARA Uetendorf-Heimberg, der 1954 durch das Kantonale Vermessungsamt (Rathausplatz 1 Bern) eingemessen wurde: $h_{ARA} :=$ 549,88 m ü.M. Meine Endresultate differieren in den Zentimeterwerten mit denjenigen, die die Wasserversorgung der Stadt im Oktober 1967 durchführen liess. Ich habe meine Resultate teilweise überprüft und sie z.T. denjenigen der WVB angeglichen.

Im Anhang (ad. 5. 2) finden sich die Details der Nivellemente. - Auf der folgenden Seite 133 sind meine Nivellemente zusammengestellt auf einem Blatt, wie es für die einzelnen Stichproben der Grundwassermessungen jeweils verwendet wurde.

Endresultate der NIVELLIERUNG bezogen auf die Station Uttigen (Triangulationspunkt) und angeglichen auf die Resultate der WV Bern (Landolt)

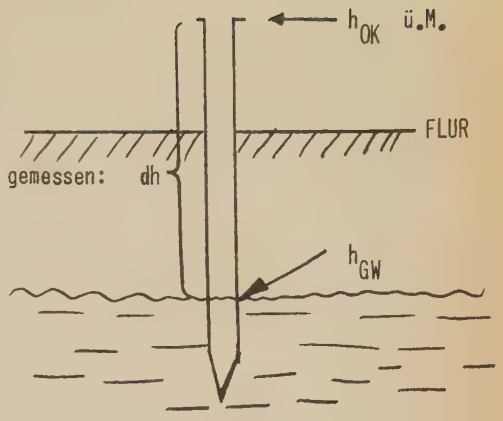
GW-Messungen in Uttigen

Datum / / 66

Wetter: schön/bedeckt/bewölkt/neblig/Regen/Schnee/kalt/warm/heiss

Ort			Abzustechen	Höhe ü.M.	Messung	H eff.	Bem
Sod Wyss	1			550,37			
BL I Ue	2			545,18			
BR 01	3			546,94			
BR 02	4			546,03			
Sod Bütler	5			545,55	546,61 neu nach Galli		
Sod Senn	6						
BR N 3	7			545,28			
BR M 3	8			545,96			
BR M 2	9			544,88			
BR N 1	10			546,41			
BR M 1	11			546,25			
BR L 2	12			543,75			
BL I/IIIc	13			543,82			
Pegel Aare	14						
See				Oktober 1967			
Regen 1							
Regen 2							

5.3 Absolute Höhe über Meer



Die Grundwassermessungen waren sogenannte "A b s t i c h e". Die absolute Grundwasserhöhe h_{GW} errechnete sich für alle 12·24o = 2880 Messungen aus der Anschrift

$$h_{GW} = h_{OK} - dh$$

Diese Werte wurden für die Hauptarbeit unmodifiziert in die Rechnungen eingegeben (ohne additive oder multiplikative Konstanten); d.h. die Resultate sind auf "Meeresspiegelhöhe" bezogen.

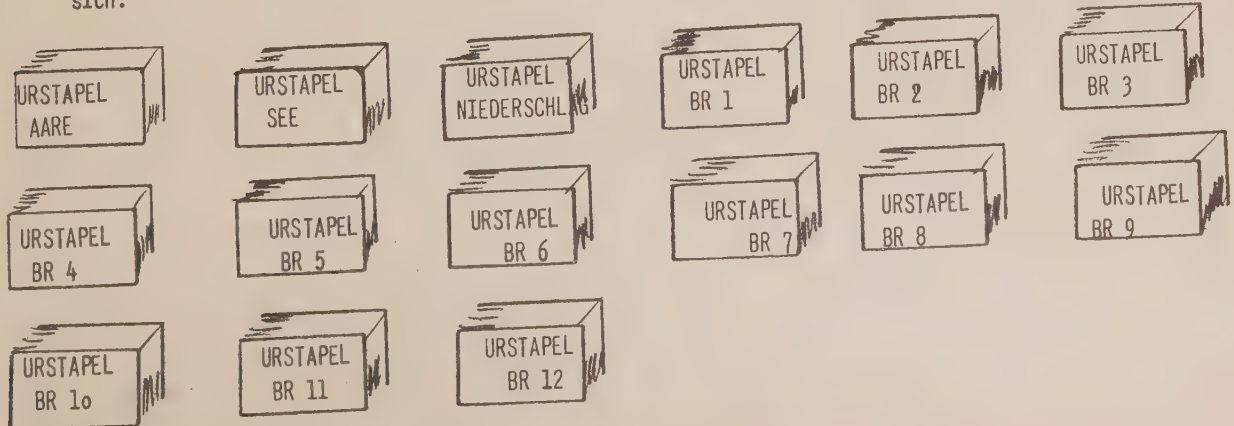
Die Zahlen für die A a r e und den S e e konnten aus den Limnigraphenstreifen mit absoluten Höhen interpoliert werden.

5.4 Vorbereitung der Hauptarbeit

Zur A u s w e r t u n g meiner Arbeit stand die Rechenanlage Gamma 3o der Universität des Kantons Bern zur Verfügung. Es war nicht möglich, ohne spezifische Kenntnisse dieser Anlage ein Programm der mehrfachen Regression und Korrelation für meine Bedürfnisse zu entwerfen. Es wäre ein solches eigenes Programm wünschbar gewesen, das bei E i n g a b e der a k t u e l l e n M e s s w e r t e selbstätig g e w i c h t e t e und g l e i t e n d e Mittel berechnet und weiterverarbeitet hätte. Das vorliegende und anspruchsvolle Programm der BULL General Electric - verfasst von den Herren Dr.H. Riedtwyl, E.Jacot des Combes (Ing) und E. Koch 1967 - berechnet Durchschnitte, Varianzen, Regressionen und Korrelationen. Theoretisch wäre es möglich, 3o Variable bei 9999 Beoabchtungen zu verarbeiten. Es zeigte sich aber bei meinem ersten Rechnungsgang, der 25 Variable bei 235 Beobachtungen aufwies, S t ö r u n g e n i m C o m p u t e r; durch Modifikationen und Einschränkung der Resultate konnten gleichwohl S c h ä t z - w e r t e - die Schlüsse auf das weitere Vorgehen erlaubten - erzielt werden. Eine genaue Beschreibung des Programms kann unter der Ref. Nr. CH o3.35.o82D bei Bull oder Uni Bern angefordert werden.

Aus vorliegenden Gründen war ich gezwungen, die äusserst umfangreichen - in 3.5 S.114 - Mittelbildungen aus der Menge der unabhängigen Variabeln mit einer elektrischen Tischrechenmaschine vorzunehmen.

Diese 25 Daten { 3·8 + 1 (GW) } p r o S t i c h t a g wurden auf 4 Lochkarten gestanzt. Es ergaben sich:



Diese 15·24o = 3600 Karten umfassten schon 864o Zahlen, die durch Duplizieren und Nummerieren auf 77o4o anwuchsen. Fehlerquellen beim Lochen konnten grösstenteils mit Hilfe der S o r t i e r m a s c h i n e eliminiert werden. Es ist dennoch notwendig, dass alle Zahlen der Urstapel einzeln nachkontrolliert werden, was viel Zeit erfordert - sich aber lohnt. - Die geordnete Durchmischung der Karten konnte mit einer speziellen Maschine des Rechenzentrums durchgeführt werden.

5. 5 H a u p t a r b e i t

Nachdem feststand, welche gewichtete und gleitende Mittel (s. 3.5 S.114f) für die Unabhängigen anzuwenden waren,

für Aare $\{a\} = {}^1/_4 \cdot (2 \cdot x_t + x_{t-1} + x_{t-2})$

für See $\{d\} = {}^1/_4 \cdot (x_t + x_{t-1} + 2 \cdot x_{t-2})$

für Niederschlag $\{h\} = {}^1/_6 \cdot (x_t + x_{t-1} + \ldots\ldots\ldots + x_{t-5})$

konnten die zwei- und dreifachen Regressionen beginnen. Auf den folgenden zwölf Seiten sind die Ausgangswerte u n d die Resultate zusammengestellt. Folgende D a t e n w u r d e n b e r e c h n e t:

11	Arithmetische Mittel und Standardabweichungen	
12	Matrix (X'X)	
13	Matrix der Quadrat- und Produktsummen (Sx_iy_j)	
14	Matrix der Summen der "Abweichungsquadrate" (S_{ij})	
15	Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten r_{ij}	
16	Partielle Korrelationskoeffizienten r_j	
21	Einfache Varianzanalyse	$y = f(x_1)$
22	Einfache Varianzanalyse	$y = f(x_2)$
23	Einfache Varianzanalyse	$y = f(x_3)$
31	Zweifache Varianzanalyse	$y = f(x_1;x_2)$
32	Zweifache Varianzanalyse	$y = f(x_1;x_3)$
41	Dreifache Varianzanalyse	$y = f(x_1; x_2; x_3)$

EGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN

DAT 101169 NR 003.001

1. Merkmale, Mittelwerte und Standardabweichungen

12. Grundlagen

Merkmal	Durchschnitt $\bar{x}_i$	Stand'abw. s_i
AARE	540,0864	0,5294
SEE	557,6883	0,2407
NIEDERSCHLAG	2,8347	2,4385
BR 01	544,5233	0,6107

$$(X'X) = \begin{pmatrix} N & Sx_1 & Sx_2 & Sx_3 & Sy \\ Sx_1 & Sx_1^2 & Sx_1x_2 & Sx_1x_3 & Sx_1y \\ Sx_2 & Sx_2x_1 & Sx_2^2 & Sx_2x_3 & Sx_2y \\ Sx_3 & Sx_3x_1 & Sx_3x_2 & Sx_3^2 & Sx_3y \\ & & & & Syy \end{pmatrix}$$

3. Matrix der Quadrat- und Produktsummen $(X'X) = (Sx_ix_j)$

J / r	0	1	2	3	4
	235	126920,3075	13105 6,7480	666,1643	127962,9710
		68547999,4415	70781987,2303	3598900,0014	69111134,3283
			73088827,1569	371543,5146	7136347,0431
				3279,8832	362848,6244
					69678904,072

A: $\frac{1}{4}\{2x_t + x_{t-1} + x_{t-2}\}$

S: $\frac{1}{4}\{x_t + x_{t-1} + 2x_{t-2}\}$

N: $\frac{1}{6}\{x_t + x_{t-1} + \ldots + x_{t-5}\}$

4. Matrix der Summen der "Abweichungsquadrate" (S_{ij})

j	1	2	3	4
	65,586650	18,055310	103,712858	72,081810
		13,555400	31,485649	20,004450
			1391,479475	106,654151
				87,275600

15. Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten r_{ij} =

1	2	3	4	ji
1	0,605538	0,343310	0,952734	1
	1	0,229255	0,5816	2
		1	0,30605	3
			1	4

1. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1)$ linear

$\hat{Y}$ = -49,0048 + 1,0099 x_1; B = 0,9077 ; r = ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
uf der Rg	79,2202	1	79,2202	
inzelwerte um	8,0554	233	0,0346	2291,4
nsgesamt	87,2756	234		

ie Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = 0,01 (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~unbedeutend~~ $\neq$ 0. da $F \geq F^{**}_{1;233} = 6,76$

16. Partielle Korrelationskoeffizienten r_j

j	1. Auswertung	2. Auswertung	3. Auswertung	4. Auswertung
1	0,952734	0,948006	0,924347	
3		-0,07371	-0,074308	
2			0,021546	

$\hat{Y}$ = -287,5391 + 1,492 x_2; B = 0,3457 ; r = ;

$\hat{Y}$ = 544,306 + 0,0766 x_3; B = 0,0937 ; r = ;

2. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_2)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
uf der Rg	30,1746	1	30,1746	
inzelwerte um	57,101	233	0,2451	123,13
nsgesamt	87,2756	234		

ie Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = 0,01 (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~unbedeutend~~ $\neq$ 0. da $F \geq F^{**}$.

23. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_3)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	8,1748	1	8,1748	
Einzelwerte um	79,1007	233	0,3395	24,08
insgesamt	87,2755	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = 0,01 (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~unbedeutend~~ $\neq$ 0. da $F > F^{**}$.

1. Varianzanalyse bezüglich x_3 / x_1

$\hat{Y}$ = -54,13 + 1,1008 x_1 - 0,0058 x_3 ; B = 0,908203; R = 0,952997

	SQ	FG	DQ	F-Wert
ezügl.b_1	79,2202	1		
us.bez.b_3/b_1	0,0438	1	0,0438	1,2674
uf der Rg	79,2640	2	39,6320	
nzelwerte um	8,0116	232	0,0345	1147,7
sgesamt	87,2756	234		

Ansatz: F = 1148 > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist ~~nicht~~ sinnvoll; das B $\neq$ 0;

Ansatz: F = 1,2674 < ; $F^{**}_{1;232}$:= 6.76 ; die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Variable x_3 ist (nicht) von Bedeutung.

32. Varianzanalyse bezüglich x_2 / x_1

$\hat{Y}$ = -56,72 + 1,094 x_1 + 0,0188 x_2 ; B = 0,907736; R = 0,952752;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b_1	79,2202	1		
zus.bez.b_2/b_1	0,003	1	0,003	0,087
auf der Rg	79,2232	2	39,6116	
Einzelwerte um	8,0524	232	0,0347	1141
insgesamt	87,2756	234		

1. Ansatz: F = 1141 > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist ~~nicht~~ sinnvoll; das B $\neq$ 0

2. Ansatz: F = 0,087 < ; $F^{**}_{1;232}$:= 6,76 ; die neu in die Rechnung einbezogene unabh. Variable x_2 ist (nicht) von Bedeutung.

41. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1;x_2;x_3)$

Regressionsgleichung $\hat{Y} = 62,69 + 1,103\ x_1 + 0,0208\ x_2 - 0,00602\ x_3$;
Bestimmtheitsmass $B = 0,908246$; mehrfacher Korrelationskoeffizient $R = 0,953019$;

	SQ	FG	DQ	F-Werte
bezüglich b_1	79,2202	1		
zusätzlich bezüglich b_3/b_1	0,0438	1		
bezüglich $b_3;b_1$	79,2640	2	39,6320	
zusätzlich bezüglich $b_2/b_1;b_3$	0,0037	1	0,0037	p,107
auf der Regression	79,2677	3	26,4226	
Einzelwerte um die Regression	8,0079	231	0,0347	761
insgesamt	87,2756	234		

Prüfverfahren:

1. Ansatz: $F = 761 > F^{**}_{3;231} := 3,88$; also ist die dreifache lineare Regression ~~nicht~~ sinnvoll; das Bestimmtheitsmass ist ~~nicht~~ signifikant $\neq 0$.

2. Ansatz: $F = 0,107 < F^{**}_{1;231} := 6,76$; die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Veränderliche x_2 sagt (nichts) wesentliches aus; also folgt, dass wir uns mit der zweifachen linearen Regression ~~[illegible]~~ begnügen können.

EGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN

DAT 1o1169 NR o3.oo2

. Merkmale, Mittelwerte und Standardabweichungen

12. Grundlagen

Merkmal	Durchschnitt $\bar{x}_i$	Stand'abw. s_i
AARE	54o,o864	o,5294
SEE	557,6883	o,24o7
NIEDERSCHLAG	2,8347	2,4385
BR 02	541,1894	o,7261

$$(X'X) = \begin{pmatrix} N & Sx_1 & Sx_2 & Sx_3 & Sy \\ Sx_1 & Sx_1^2 & Sx_1x_2 & Sx_1x_3 & Sx_1y \\ Sx_2 & Sx_2x_1 & Sx_2^2 & Sx_2x_3 & Sx_2y \\ Sx_3 & Sx_3x_1 & Sx_3x_2 & Sx_3^2 & Sx_3y \\ & & & & Syy \end{pmatrix}$$

. Matrix der Quadrat- und Produktsummen $(X'X) = (Sx_ix_j)$

0	1	2	3	4
235	12692o,3o75	131856,748o	666,1643	127179,513o
	68547999,4415	7o781987,23o3	35989o,oo14	68688olo,4o46
		73o88827,1569	371543,5146	7o926547,7167
			3279,8832	36o656,3o79
				68828329,8832

. Matrix der Summen der "Abweichungsquadrate." (S_{ij})

1	2	3	4
65,58665o	18,o5531o	1o3,712858	83,18o46
	13,5554oo	31,485649	22,66993
		1391,479475	135,238781
			123,38566

15. Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten r_{ij} =

1	2	3	4
1	o,6o5538	o,343310	o,924659
	1	o,229255	o,554322
		1	o,326386
			1

. Varianzanalyse $Y = f(x_1)$ linear

= -143,7767 + 1,2683 x_1; B= o,855 ; r= ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
f der Rg	1o5,4939	1	1o5,4939	
nzelwerte um	17,8918	233	o,o768	1374
sgesamt	123,3857	234		

e Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0. da $F < F^{**}$=6,76;

16. Partielle Korrelationskoeffizienten r_j

j	1.Auswertung	2.Auswertung	3.Auswertung	4.Auswertung
1	o,924658	o,915317	o,8817o8	
3		o,o24998	o,o25541	
2			o,o19187	

. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_2)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
f der Rg	37,913	1	37,913	
nzelwerte um	85,4727	233	o,3668	1o3
sgesamt	123,3857	234		

e Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0.da $F > F^{**}$= 6,76;

$\hat{Y}$ = - 391,48 + 1,6724 x_2; B = o,3o73 ; r = ;

$\hat{Y}$ = 54o,914 + o,o972 x_3; B = o,1o65 ; r= ;

23. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_3)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wer
auf der Rg	13,144	1	13,144	
Einzelwerte um	11o,2417	233	o,4731	27,78
insgesamt	123,3857	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0.da $F > F^{**}$.

. Varianzanalyse bezüglich x_3 /x_1

=-141,2o8+1,2635 x_1 + o,oo3 x_3 ; B = o,855o8 ; R = ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
zügl.b_1	1o5,4937	1		
s.bez.b_3/b_1	o,o111	1	o,o111	o,144
f der Rg	1o5,5o48	2	52,7524	
nzelwerte um	17,88o6	232	o,o771	684
sgesamt	123,3854	234		

Ansatz: F= 684 > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (~~nicht~~) sinnvoll;das B$\neq$ 0;

Ansatz: F= o,144 < ; $F^{**}_{1;232}$:= 6,76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Variable x_3 ist (nicht) von Bedeutung.

32. Varianzanalyse bezüglich x_2 /x_1

$\hat{Y}$=-132,8776+1,2756 x_1 - o,o266x_2 ; B =o,855o4 ; R = ;

	SQ	FG	DQ	F-Wer
bezügl.b_1	1o5,4937	1		
zus.bez.b_2/b_1	o,oo61	1	o,oo61	o,o79
auf der Rg	1o5,4998	2	52,75	
Einzelwerte um	17,8857	232	o,o771	684
insgesamt	123,3855	234		

1. Ansatz: F= 684 > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (~~nicht~~) sinnvoll; das B$\neq$ 0;

2. Ansatz: F= o,o79 < ; $F^{**}_{1;232}$:6.76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabh. Variable x_2 ist (nicht) von Bedeutung.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 101169 NR 003.003

11. Merkmale, Mittelwerte und Standardabweichungen

i	Merkmal	Durchschnitt $\bar{x}_i$	Stand'abw. s_i
1	AARE	54o,o864	o,5294
2	SEE	557,6883	o,24o7
3	NIEDERSCHLAG	2,8347	2,4385
4	BR 03	541,1894	o,7261

12. Grundlagen

$$(X'X) = \begin{pmatrix} N & Sx_1 & Sx_2 & Sx_3 & Sy \\ Sx_1 & Sx_1^2 & Sx_1x_2 & Sx_1x_3 & Sx_1y \\ Sx_2 & Sx_2x_1 & Sx_2^2 & Sx_2x_3 & Sx_2y \\ Sx_3 & Sx_3x_1 & Sx_3x_2 & Sx_3^2 & Sx_3y \\ & & & & Syy \end{pmatrix}$$

13. Matrix der Quadrat- und Produktsummen $(X'X) = (Sx_ix_j)$

IJ	0	1	2	3	4
0	235	12692o,3o75	131o56,748o	666,1643	127695,712o
1		68547999,4415	7o781987,23o3	35989o,oo14	68966798,6792
2			73888827,1569	371543,5146	71214425,1114
3				3279,8832	362lo8,2532
4					69388169,6139

14. Matrix der Summen der "Abweichungsquadrate" (S_{ij})

ij	1	2	3	4
1	65,586650	18,o553lo	1o3,712857	79,38779o
2		13,5554oo	31,485649	21,927260
3			1391,479475	123,893223
4				1o6,366280

15. Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten r_{ij} –

1	2	3	4	ji
1	o,6o5538	o,343310	o,95o483	1
	1	o,229255	o,577466	2
		1	o,322o38	3
			1	4

21. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1)$ linear

$\hat{Y}$ = -11o,3486 + 1,21o4 x_1; B=o,9o34 ; r= ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	96,o93	1	96,o93	
Einzelwerte um	1o,2732	233	o,o44	2179
insgesamt	1o6,3662	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (nicht) gesichert; B und r sind signifikant / zufällig ≠ 0. da f > F**:= 6,76

16. Partielle Korrelationskoeffizienten r_j

j	1.Auswertung	2.Auswertung	3.Auswertung	4.Auswertung
1	o,95o482	o,944597	o,919993	
3		-o,o14636	-o,o14863	
2			o,oo8158	

$\hat{Y}$ = -358,7324 + o,o89 x_2; B = o,1o37 ; r = ;

$\hat{Y}$ = 543,1336 + 1,6176 x_3; B = o,3335 ; r= ;

22. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_2)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	35,4696	1	35,4696	
Einzelwerte um	7o,8967	233	o,3o43	116,57
insgesamt	1o6,3663	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (nicht) gesichert; B und r sind signifikant / zufällig ≠ 0. da F > F**

23. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_3)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wer
auf der Rg	11,o311	1	11,o311	
Einzelwerte um	95,3352	233	o,1o37	26,96
insgesamt	1o6,3663	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (nicht) gesichert; B und r sind signifikant / zufällig ≠ 0. da F > F**

31. Varianzanalyse bezüglich x_3/x_1

$\hat{Y}$ = -111,49+1,2125 x_1 - o,oo13 x_3 ; B = o,9o3437 ; R = ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b_1	96,o93	1		
zus.bez.b_3/b_1	o,oo22	1	o,oo22	o,o497
auf der Rg	96,o952	2	48,o476	
einzelwerte um	1o,271	232	o,o443	1o85
insgesamt	1o6,3662	234		

1. Ansatz: F= 1o85 > ; $F^{**}_{2\ 232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (nicht) sinnvoll; das B ≠0;

2. Ansatz: F= o,o497 < ; $F^{**}_{1\ 232}$:= 6,76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Variable x_3 ist (nicht) von Bedeutung.

32. Varianzanalyse bezüglich x_2/x_1

$\hat{Y}$ = -113,81+ 1,2o8 x_1 +o,oo85 x_2 ; B = o,9o3422 ; R =

	SQ	FG	DQ	F-Wer
bezügl.b_1	96,o93	1		
zus.bez.b_2/b_1	o,oo06	1	o,oo06	o,o14
auf der Rg	96,o936	2	48,o468	
Einzelwerte um	1o,2726	232	o,o443	1o85
insgesamt	1o6,3662	234		

1. Ansatz: F= 1o85 > ; $F^{**}_{2\ 232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (nicht) sinnvoll; das B ≠0

2. Ansatz: F= o,o14 < ; $F^{**}_{1;\ 232}$:= 6,76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabh. Variable x_2 ist (nicht) von Bedeutung.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 23[illegible]69 NR 003.003

41. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1;x_2;x_3)$

Regressionsgleichung $\hat{Y} = -115{,}158 + 1{,}2101\ x_1 + 0{,}0089\ x_2 - 0{,}00136\ x_3$;
Bestimmtheitsmass $B = 0{,}903444$; mehrfacher Korrelationskoeffizient $R = 0{,}950496$;

	SQ	FG	DQ	F-Werte
bezüglich b_1	96,093	1		
zusätzlich bezüglich b_3/b_1	0,0022	1		
bezüglich $b_3;b_1$	96,0952	2	48,0476	
zusätzlich bezüglich $b_2/b_1;b_3$	0,0007	1	0,0007	0,015
auf der Regression	96,0959	3	32,032	
Einzelwerte um die Regression	10,2703	231	0,0445	719
insgesamt	106,3662	234		

Prüfverfahren:

1. Ansatz: $F = 719 > ;F^{**}_{3;231} := 3{,}88$; also ist die dreifache lineare Regression ~~(nicht)~~ sinnvoll; das Bestimmtheitsmass ist ~~(nicht)~~ signifikant $\neq 0$.

2. Ansatz: $F = 0{,}015 ;F^{**}_{1;231} := 6{,}76$; die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Veränderliche x_2 sagt (nichts) wesentliches aus; also folgt, dass wir uns mit der zweifachen linearen Regression ~~nicht~~ begnügen können.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 231169 NR 003.004

41. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1;x_2;x_3)$

Regressionsgleichung $\hat{Y} = -51{,}77 + 1{,}096\ x_1 + 0{,}0052\ x_2 + 0{,}0054\ x_3$;
Bestimmtheitsmass $B = 0{,}900794$; mehrfacher Korrelationskoeffizient $R = 0{,}949102$;

	SQ	FG	DQ	F-Werte
bezüglich b_1	80,2777	1		
zusätzlich bezüglich b_3/b_1	0,0362	1		
bezüglich $b_1;b_3$	80,3139	2	40,157	
zusätzlich bezüglich $b_2/b_1;b_3$	00,0002	1	0,0002	0,006
auf der Regression	80,3141	3	26,7714	
Einzelwerte um die Regression	8,8451	231	0,0383	699
insgesamt	89,1592	234		

Prüfverfahren:

1. Ansatz: $F = 699 > ;F^{**}_{3;231} := 3{,}88$; also ist die dreifache lineare Regression (nicht) sinnvoll; das Bestimmtheitsmass ist ~~(nicht)~~ signifikant $\neq 0$.

2. Ansatz: $F = 0{,}006 < ;F^{**}_{1;231} := 6{,}76$; die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Veränderliche x_2 sagt (nichts) wesentliches aus; also folgt, dass wir uns mit der zweifachen linearen Regression ~~nicht~~ begnügen können.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 1o1169 NR o3.oo4

11. Merkmale, Mittelwerte und Standardabweichungen

i	Merkmal	Durchschnitt $\bar{x}_i$	Stand'abw. s_i
1	AARE	54o,o864	o,5294
2	SEE	557,6883	o,24o7
3	NIEDERSCHLAG	2,8347	2,4385
4	BR 4	543,26o3	o,6173

12. Grundlagen

$$(X'X) = \begin{pmatrix} N & Sx_1 & Sx_2 & Sx_3 \\ Sx_1 & Sx_1^2 & Sx_1x_2 & Sx_1x_3 \\ Sx_2 & Sx_2x_1 & Sx_2^2 & Sx_2x_3 \\ Sx_3 & Sx_3x_1 & Sx_3x_2 & Sx_3^2 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} Sy \\ Sx_1y \\ Sx_2y \\ Sx_3y \end{matrix} \quad Syy$$

13. Matrix der Quadrat- und Produktsummen $(X'X) = (Sx_ix_j)$

IJ	0	1	2	3	4
0	235	12692o,3o75	131o56,748o	666,1643	127666,1779
1		68547999,4415	7o781987,23o3	35989o,oo14	6895o84o,8865
2			73o88827,1569	371543,5146	71197952,3983
3				3279,8832	362o22,o498
4					69356o59,2852

14. Matrix der Summen der "Abweichungsquadrate" (S_{ij})

ij	1	2	3	4
1	65,586650	18,o5531o	1o3,712857	72,561310
2		13,555400	31,485649	2o,o3592o
3			1391,479475	121,411355
4				89,15931o

15. Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten r_{ij} =

i	1	2	3	4	j
1	1	p,6o5537	o,343310	p,948886	1
2		1	o,229255	p,576328	
3			1	p,344697	
4				1	

21. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1)$ linear

$\hat{Y}$ = -54,26o3 + 1,1o63 x_1; B= o,9oo4 ; r= ____ ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	8o,2777	1	8o,2777	
Einzelwerte um	8,8816	233	o,o381	21o6
insgesamt	89,1593	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol ~~(nicht)~~ gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0. da F > F** = 6,76;

16. Partielle Korrelationskoeffizienten r_j

j	1.Auswertung	2.Auswertung	3.Auswertung	4.Auswertung
1	o,948886	o,942o27	o,916531	
3		o,o63875	o,o637o5	
2			o,oo5122	

$\hat{Y}$ = -281,o457 + 1,4781 x_2; B = o,3322 ; r = ____;

$\hat{Y}$ = 543,o13 + o,o873 x_3; B = o,1188 ; r= ____;

22. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_2)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	29,6146	1	29,6146	
Einzelwerte um	59,5447	233	o,2556	115,88
insgesamt	89,1593	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol ~~(nicht)~~ gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0. da F > F**.

23. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_3)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wer
auf der Rg	1o,5936	1	1o,5936	
Einzelwerte um	78,5657	233	o,3372	31,42
insgesamt	89,1593	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol ~~(nicht)~~ gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0. da F > F**.

31. Varianzanalyse bezüglich x_3 / x_1

$\hat{Y}$ = -46,836+ 1,o926x_1 + o,oo58x_3 ; B = o,8934 ; R = ____;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b_1	79,6152	1		
zus.bez.b_3/b_1	o,o416	1	o,o416	1,o1
auf der Rg	79,6568	2	39,8284	
einzelwerte um	9,5o24	232	o,o41	972
insgesamt	89,1592	234		

1. Ansatz: F= 972 > ; $F_{2,232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist ~~(nicht)~~ sinnvoll; das B $\neq$0;

2. Ansatz: F= 1,o1 < ; $F_{1,232}$:= 6,76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Variable x_3 ist (nicht) von Bedeutung.

32. Varianzanalyse bezüglich x_2 / x_1

$\hat{Y}$=-57,1456 + 1,1o4 x_1 + o,oo71x_2 ; B = o,9oo4 ; R = ____;

	SQ	FG	DQ	F-Wer
bezügl.b_1	8o,2777	1		
zus.bez.b_2/b_1	o,ooo442	1	o,ooo442	o,oo
auf der Rg	8o,278 1	2	4o,1391	
Einzelwerte um	8,8812	232	o,o3828	1o48
insgesamt	89,1593	234		

1. Ansatz: F= 1o48 > ; $F_{2,232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist ~~(nicht)~~ sinnvoll; das B $\neq$0

2. Ansatz: F= o,oo1 < ; $F_{1,232}$:= 6,76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabh. Variable x_2 ist (nicht) von Bedeutung.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN

DAT 121169 NR 03.005

11. Merkmale, Mittelwerte und Standardabweichungen

i	Merkmal	Durchschnitt $\bar{x}_i$	Stand'abw. s_i
1	AARE	54o,o864	o,5294
2	SEE	557,6883	o,24o7
3	NIEDERSCHLAG	2,8347	2,4385
4	BR 05	541,63	o,5483

12. Grundlagen

$$(X'X) = \begin{pmatrix} N & Sx_1 & Sx_2 & Sx_3 \\ Sx_1 & Sx_1^2 & Sx_1x_2 & Sx_1x_3 \\ Sx_2 & Sx_2x_1 & Sx_2^2 & Sx_2x_3 \\ Sx_3 & Sx_3x_1 & Sx_3x_2 & Sx_3^2 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} Sy \\ Sx_1y \\ Sx_2y \\ Sx_3y \\ Syy \end{matrix}$$

13. Matrix der Quadrat- und Produktsummen $(X'X) = (Sx_ix_j)$

ij	0	1	2	3	4
0	235	12692o,o3o8	131o56,748o	666,1643	127283,o51o
1		68547999,4415	7o781987,23o3	359890,oo14	687439o7,8459
2			73o88827,1569	371543,5146	7o984283,7o83
3				3279,8832	36o91o,6587
4					6894o389,798o

14. Matrix der Summen der "Abweichungsquadrate" (S_{ij})

ij	1	2	3	4
1	65,586650	18,o5531o	1o3,712858	61,154630
2		13,555400	31,485649	16,731340
3			1391,479475	96,o86o67
4				7o,343240

15. Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten r_{ij} -

	1	2	3	4
1		p,6o5537	o,343310	p,9oo348
2			o,229255	p,541831
3				p,3o7122
4				

21. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1)$ linear

$\hat{Y}$ = 38,o4 + o,9324 x_1; B= o,81o6 ; r= ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	57,o221	1	57,o221	
Einzelwerte um	13,3211	233	o,o572	997
insgesamt	7o,3432	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (nicht) gesichert; B und r sind signifikant / zufällig $\neq$ 0. da F > F** = 6,76;

16. Partielle Korrelationskoeffizienten r_j

j	1.Auswertung	2.Auswertung	3.Auswertung	4.Auswertung
1	o,9oo348	o,855541	o,847262	
2		-o,oo9714	-o,oo958	
3			-o,oo456	

$\hat{Y}$ = -146,721 + 1,2343 x_2; B = o,2936 ; r = ;

$\hat{Y}$ = 541,4343 + o,o69 x_3; B = o,o943 ; r= ;

22. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_2)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	2o,6514	1	2o,6514	
Einzelwerte um	49,6919	233	o,2133	97
insgesamt	7o,3433	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (nicht) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0. da F > F**.

23. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_3)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	6,635	1	6,635	
Einzelwerte um	63,7o82	233	o,2734	24,27
insgesamt	7o,3432	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (nicht) gesichert; B und r sind signifikant / zufällig $\neq$ 0. da F > F**.

31. Varianzanalyse bezüglich x_2/x_1

$\hat{Y}$ =42,989+ o,936 x_1 - o,o12 x_2 ; B =o,81o6 ; R = ,

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b_1	57,o22o	1		
zus.bez.b_2/b_1	o,oo13	1	o,oo13	o,o23
auf der Rg	57,o233	2	28,5117	
Einzelwerte um	13,3199	232	o,o574	497
insgesamt	7o,3432	234		

1. Ansatz: F= 497 > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (nicht) sinnvoll; das B $\neq$ 0;

2. Ansatz: F= o,o23 < ; $F^{**}_{1;232}$:= 6,76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Variable x_2 ist (nicht) von Bedeutung.

32. Varianzanalyse bezüglich x_3/x_1

$\hat{Y}$=37,611 + o,933 x_1 - o,oo1 x_3 ; B =o,81o6 ; R =

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b	57,o221	1		
zus.bez.b_3/b_1	o,ooo3	1	o,ooo33	o,oo22
auf der Rg	57,o224	2	28,5112	
Einzelwerte um	13,32o8	232	o,o574	496
insgesamt	7o,3432	234		

1. Ansatz: F= 496 > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (nicht) sinnvoll; das B $\neq$ 0;

2. Ansatz: F= o,oo22 < ; $F^{**}_{1;232}$:= 6,76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabh. Variable x_3 ist (nicht) von Bedeutung.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 231169 NR 003.005'

41. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1;x_2;x_3)$

Regressionsgleichung $\hat{Y} = 42,52 + 0,936\ x_1 - 0,0119\ x_2 - 0,00005\ x_3$;
Bestimmtheitsmass $B = 0,810648$; mehrfacher Korrelationskoeffizient $R = 0,90036$;

	SQ	FG	DQ	F-Werte
bezüglich b_1	57,0221	1		
zusätzlich bezüglich b_2/b_1	0,0013	1		
bezüglich $b_2;b_1$	57,0234	2	28,5117	
zusätzlich bezüglich $b_3/b_1;b_2$	0,0003	1	0,0003	0,005
auf der Regression	57,0237	3	19,0079	
Einzelwerte um die Regression	13,3196	231	0,0577	329
insgesamt	70,3433	234		

Prüfverfahren:

1. Ansatz: $F = 329 > ;F^{**}_{3;231} := 3,88$; also ist die dreifache lineare Regression (~~nicht~~) sinnvoll; das Bestimmtheitsmass ist (~~nicht~~)- signifikant $\neq 0$.

2. Ansatz: $F = 0,005 ;F^{**}_{1;231} := 6,76$; die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Veränderliche x_3 sagt (nichts) wesentliches aus; also folgt, dass wir uns mit der zweifachen linearen Regression ~~nicht~~ begnügen können.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 231169 NR 003.006

41. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1;x_2;x_3)$

Regressionsgleichung $\hat{Y} = 34,581 + 0,9704\ x_1 - 0,0286\ x_2 + 0,0056\ x_3$;
Bestimmtheitsmass $B = 0,9125$; mehrfacher Korrelationskoeffizient $R = 0,9553$;

	SQ	FG	DQ	F-Werte
bezüglich b_1	61,8938	1		
zusätzlich bezüglich b_3/b_1	0,0382	1		
bezüglich $b_3;b_1$	61,932	2	30,966	
zusätzlich bezüglich $b_2/b_1;b_3$	0,007	1	0,007	0,27
auf der Regression	61,939	3	20,646	
Einzelwerte um die Regression	5,9377	231	0,0257	803
insgesamt	67,8767	234		

Prüfverfahren:

1. Ansatz: $F = 803 > ;F^{**}_{3;231} := 3,88$; also ist die dreifache lineare Regression (~~nicht~~) sinnvoll; das Bestimmtheitsmass ist (~~nicht~~)- signifikant $\neq 0$.

2. Ansatz: $F = 0,27 < ;F^{**}_{1;231} := 6,76$; die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Veränderliche x_3 sagt (nichts) wesentliches aus; also folgt, dass wir uns mit der zweifachen linearen Regression ~~nicht~~ begnügen können.

EGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 1o1169 NR oo3.oo6

1. Merkmale, Mittelwerte und Standardabweichungen 12.Grundlagen

Merkmal	Durchschnitt $\bar{x}_i$	Stand'abw. s_i
AARE	54o,886415	o,529419
SEE	557,688289	o,24o685
NIEDERSCHLAG	2,834742	2,438543
BR 06	542,749719	o,538583

$$(X'X) = \begin{pmatrix} N & Sx_1 & Sx_2 & Sx_3 & Sy \\ Sx_1 & Sx_1^2 & Sx_1x_2 & Sx_1x_3 & Sx_1y \\ Sx_2 & Sx_2x_1 & Sx_2^2 & Sx_2x_3 & Sx_2y \\ Sx_3 & Sx_3x_1 & Sx_3x_2 & Sx_3^2 & Sx_3y \\ & & & & Syy \end{pmatrix}$$

3. Matrix der Quadrat- und Produktsummen $(X'X) = (Sx_ix_j)$

J	0	1	2	3	4
	235	12692o,3o75	131o56,748o	666164,3ooo	127546,184o
		68547999,4415	7o781987,23o3	35989o,oo14	68886o24,9634
			73o88827,1569	371543,5146	71131o3o,48o6
				3279,8832	361668,o886
					69225723,4212

4. Matrix der Summen der "Abweichungsquadrate" (S_{ij})

j	1	2	3	4
	65,58665o	18,o5531o	1o3,712858	63,71348o
		13,5554oo	31,485649	17,31o99o
			1391,479475	1o76,o19125
				67,87673o

15. Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten r_{ij} -

1	2	3	4	ji
1	o,6o5537	o,343310	o,954912	1
	1	o,229255	o,57o697	2
		1	o,35o124	3
			1	4

11. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1)$ linear

$\hat{Y}$ = 18,o883 + o,9714 x_1; B= o,9119 ; r= ____ ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	61,8939	1	61,8939	
Einzelwerte um	5,9829	233	o,o257	241o
insgesamt	67,6768	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0.

16. Partielle Korrelationskoeffizienten r_j

j	1.Auswertung	2.Auswertung	3.Auswertung	4.Auswertung
1	o,954912	o,94878	o,9272o6	
3		o,o79946	o,o8o933	
2			-o,o34314	

$\hat{Y}$ = -169,4489 + 1,277 x_2; B = o,3257 ; r = ____;

$\hat{Y}$ = 54o,5577 + o,7733 x_3; B = ____ ; r= ____;

22. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_2)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	22,1o71	1	22,1o71	
Einzelwerte um	45,7696	233	o,1964	113
insgesamt	67,8767	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0.

23. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_3)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	832,o763	1	832,o763	
Einzelwerte um	764,1996	233	-3,2798	-253
insgesamt	67,8767	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (nicht) gesichert; B und r sind ~~signifikant~~ / zufällig $\neq$ 0.

31. Varianzanalyse bezüglich x_3 /x_1

$\hat{Y}$ = 22,8393 + o,9626x_1 + o,oo56x_3; B = o,9124 ; R = o,9552 ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b_1	61,8938	1		
zus.bez.b_3/b_1	o,o382	1	o,o382	1,49
auf der Rg	61,932o	2	3o,966	
Einzelwerte um	5,9447	232	o,o256	121o
insgesamt	67,8767	234		

1. Ansatz: F= 121o > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist ~~(nicht)~~ sinnvoll; das B $\neq$ 0;

2. Ansatz: F= 1,49 ; $F^{**}_{1;232}$:= 6,76 ; die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Variable x_3 ist (nicht) von Bedeutung.

32. Varianzanalyse bezüglich x_2 /x_1

$\hat{Y}$= 28,982 + o,9788 x_1 -o,o266 x_2 ; B = o,9119 ; R = o,955 ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b_1	61,8938	1		
zus.bez.b_2/b_1	o,oo61	1	o,oo61	o,24
auf der Rg	61,9	2	3o,95	
Einzelwerte um	5,9768	232	o,o258	12oo
insgesamt	67,8768	234		

1. Ansatz: F= 12oo > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist ~~(nicht)~~ sinnvoll; das B $\neq$ 0

2. Ansatz: F= o,24 ; $F^{**}_{1;232}$ 6,76 ; die neu in die Rechnung einbezogene unabh. Variable x_2 ist (nicht) von Bedeutung.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN

DAT 1o1169 NR o3.oo7

11. Merkmale, Mittelwerte und Standardabweichungen

i	Merkmal	Durchschnitt $\bar{x}_i$	Stand'abw. s_i
1	AARE	54o,o864	o,5294
2	SEE	557,6883	o,24o7
3	NIEDERSCHLAG	2,8347	2,4385
4	BR 07	542,o813	o,5o49

12. Grundlagen

$$(X'X) = \begin{pmatrix} N & Sx_1 & Sx_2 & Sx_3 & Sy \\ Sx_1 & Sx_1^2 & Sx_1x_2 & Sx_1x_3 & Sx_1y \\ Sx_2 & Sx_2x_1 & Sx_2^2 & Sx_2x_3 & Sx_2y \\ Sx_3 & Sx_3x_1 & Sx_3x_2 & Sx_3^2 & Sx_3y \\ & & & & Syy \end{pmatrix}$$

13. Matrix der Quadrat- und Produktsummen $(X'X) = (Sx_ix_j)$

IJ	0	1	2	3	4
0	235	12692o,3o75	131o56,748o	666,1643	127389,116o
1		68547999,4415	7o781987,23o3	35989o,oo14	688o119o,4913
2			73o88827,1589	371543,5146	71o43434,3456
3				3279,8832	361218,o544
4					69o55322,9443

14. Matrix der Summen der "Abweichungsquadrate" (S_{ij})

ij	1	2	3	4
1	65,586650	18,o5531o	1o3,712858	59,534450
2		13,555400	31,485649	16,376980
3			1391,479475	1o2,814834
4				59,645330

15. Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten r_{ij} -

1	2	3	4
1	o,6o5538	o,343310	o,951859
	1	o,229255	o,575956
		1	o,356886
			1

21. Varianzanalyse $Y = f(x_1)$ linear

$\hat{Y}$ = 51,83295 + o,9o77 x_1; B= o,9o6o3 ; r= ____ ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	54,o4o7	1	54,o4o7	
Einzelwerte um	5,6o46	233	o,o241	2247
insgesamt	59,6453	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α=o,o1 (nicht) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0. $F^{**}_{1;233}$ = 6,76;

16. Partielle Korrelationskoeffizienten $r_{j\,i}$

j \ i	1.Auswertung	2.Auswertung	3.Auswertung	4.Auswertung
1	o,951859	o,94525	o,921338	
3		o,1o4559	o,1o4652	
2			-o,oo4779	

$\hat{Y}$ = -131,69o8 + 1,2o82 x_2; B = o,3317 ; r = ____;

$\hat{Y}$ = 541,8718 + o,o739 x_3; B = o,1274 ; r= ____;

22. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_2)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	19,7859	1	19,7859	
Einzelwerte um	39,8595	233	o,1711	116
insgesamt	59,6454	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,o1 (nicht) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0.

23. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_3)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	7,5969	1	7,5969	
Einzelwerte um	52,o485	233	o,2234	34
insgesamt	59,6454	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,o1 (nicht) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0.

31. Varianzanalyse bezüglich x_3/x_1

$\hat{Y}$ = 57,84696+o,8965 x_1 + o,oo71x_3 ; B = o,9o71 ; R = o,9524 ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b_1	54,o4o7	1	54,o4o7	
zus.bez.b_3/b_1	o,o613	1	o,o613	2,56
auf der Rg	54,1o2o	2	27,o51o	
einzelwerte um	5.5433	232	o,o239	1132
insgesamt	59,6453	234		

1. Ansatz: F= 1132 > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (nicht) sinnvoll;das B 0;

2. Ansatz: F= 2,56 ; $F^{**}_{1;232}$:= 6,76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Variable x 3 ist (nicht) von Bedeutung, da F < F**.

32. Varianzanalyse bezüglich x_2/x_1

$\hat{Y}$=52,4153+o,9o81 x_1 -o,oo14 x_2 ; B = o,9o6 ; R = o,9519 ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b_1	54,o4o7	1		
zus.bez.b_2/b_1	o,oooo2	1	o,oooo2	o,ooo7
auf der Rg	54,o4o7	2	27,o2o4	
Einzelwerte um	5,6o46	232	o,o242	1117
insgesamt	59,6453	234		

1. Ansatz: F= 1117 > ; F_2^{**} := 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (nicht) sinnvoll; das B 0

2. Ansatz: F= o,ooo7 ; $F^{**}_{1;232}$:= 6.76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabh. Variable x_2 ist (nicht) von Bedeutung, da F < F**.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 231169 NR 003.007'

41. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1;x_2;x_3)$

Regressionsgleichung $\hat{Y} = 59,426 + 0,897\ x_1 - 0,0038\ x_2 + 0,00707\ x_3$;
Bestimmtheitsmass $B = 0,907064$; mehrfacher Korrelationskoeffizient $R = 0,952399$;

	SQ	FG	DQ	F-Werte
bezüglich b_1	54,0407	1		
zusätzlich bezüglich b_3/b_1	0,0613	1		
bezüglich $b_1;b_3$	54,102	2	27,051	
zusätzlich bezüglich $b_2/b_1;b_3$	0,0001	1	0,0001	0,005
auf der Regression	54,1021	3	18,034	
Einzelwerte um die Regression	5.5432	231	0,024	751
insgesamt	59,6453	234		

Prüfverfahren:

1. Ansatz: $F = 751 > F^{**}_{3;231} := 3,88$; also ist die dreifache lineare Regression (~~nicht~~) sinnvoll; das Bestimmtheitsmass ist (~~nicht~~) signifikant $\neq 0$.

2. Ansatz: $F = 0,005 < F^{**}_{1;231} := 6,76$; die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Veränderliche x_2 sagt (nichts) wesentliches aus; also folgt, dass wir uns mit der zweifachen linearen Regression ~~nicht~~ begnügen können.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 231169 NR 003.008'

41. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1;x_2;x_3)$

Regressionsgleichung $\hat{Y} = -20,92 + 1,01\ x_1 + 0,0316\ x_2 + 0,0043\ x_3$;
Bestimmtheitsmass $B = 0,923406$; mehrfacher Korrelationskoeffizient $R = 0,960940$;

	SQ	FG	DQ	F-Werte
bezüglich b_1	69,0318	1		
zusätzlich bezüglich b_3/b_1	0,0236	1		
bezüglich $b_1;b_3$	69,0554	2	34,5277	
zusätzlich bezüglich $b_2/b_1;b_3$	0.0086	1	0,0086	0,347
auf der Regression	69,064	3	23,0213	
Einzelwerte um die Regression	5,7286	231	0,0248	928
insgesamt	74,7926	234		

Prüfverfahren:

1. Ansatz: $F = 928 > F^{**}_{3;231} := 3,88$; also ist die dreifache lineare Regression (~~nicht~~) sinnvoll; das Bestimmtheitsmass ist (~~nicht~~) signifikant $\neq 0$.

2. Ansatz: $F = 0,347 < F^{**}_{1;231} := 6,76$; die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Veränderliche x_2 sagt (~~nichts~~)unwesentliches aus; also folgt, dass wir uns mit der zweifachen linearen Regression ~~nicht~~ begnügen können.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 1o1169 N Roo3.oo8

11. Merkmale, Mittelwerte und Standardabweichungen

i	Merkmal	Durchschnitt $\bar{x}_i$	Stand'abw. s_i
1	AARE	54o,o864	o,5294
2	SEE	557,6883	o,24o7
3	NIEDERSCHLAG	2,8347	2,4385
4	BR 08	542,4538	o,5654

12. Grundlagen

$$(X'X) = \begin{pmatrix} N & Sx_1 & Sx_2 & Sx_3 & Sy \\ Sx_1 & Sx_1^2 & Sx_1x_2 & Sx_1x_3 & Sx_1y \\ Sx_2 & Sx_2x_1 & Sx_2^2 & Sx_2x_3 & Sx_2y \\ Sx_3 & Sx_3x_1 & Sx_3x_2 & Sx_3^2 & Sx_3y \\ & & & & Syy \end{pmatrix}$$

13. Matrix der Quadrat- und Produktsummen $(X'X) = (Sx_ix_j)$

IJ	0	1	2	3	4
0	235	12692o,3o75	131o56,748o	666,1643	127476,634o
1		68547999,4415	7o781987,23o3	359890,oo14	68848465,5269
2			73o88827,1569	371543,5146	71o922447571
3				3279,8832	361475,1187
4					6915o254,4351

14. Matrix der Summen der "Abweichungsquadrate." (S_{ij})

ij	1	2	3	4
1	65,586650	18,o5531o	1o3,712858	67,28717o
2		13,5554oo	31,485649	18,8o8o8o
3			1391,479475	111,788258
4				74,79265o

15. Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten r_{ij} -

1	2	3	4	ji
1	o,6o5538	o,34331	o,96o716	1
	1	o,229256	o,596689	2
		1	o,34652	3
			1	4

16. Partielle Korrelationskoeffizienten r_j

j	1.Auswertung	2.Auswertung	3.Auswertung	4.Auswertung

21. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1)$ linear

$\hat{Y} = -11,6359 + 1,o26\ x_1$; B=o,923 ; r= ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	69,o318	1	69,o318	
Einzelwerte um	5,76o9	233	o,o247	2792
insgesamt	74,7927	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq 0$. da $F > F^{**}=6,76$;

22. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_2)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	26,o962	1	26,o962	
Einzelwerte um	48,6965	233	o,2o9	124,8
insgesamt	74,7927	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq 0$. da $f > F^{**}$.

31. Varianzanalyse bezüglich x_3/x_1

$\hat{Y} = -7o,9ol+1,ol9\ x_1 + o,oo4\ x_3$; B = o,9233 ; R = ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b_1	69,o318	1		
zus.bez.b_3/b_1	o,o236	1	o,o236	o,o96
auf der Rg	69,o554	2	34,5277	
einzelwerte um	5,7372	232	o,o247	1396
insgesamt	74,7926	234		

1. Ansatz: F= 1396 > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (~~nicht~~) sinnvoll;das B $\neq$0;

2. Ansatz: F= o,o96 <; $F^{**}_{1;232}$:=6,76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Variable x_3 ist (nicht) von Bedeutung.

$\hat{Y} = -231,337 + 1,3875\ x_2$; B = o,3489 ; r = ;

$\hat{Y} = 542,2261 + o,o8o34\ x_3$; B = o,o,12ol ; r= ;

23. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_3)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wer
auf der Rg	8,98o8	1	8,98o8	
Einzelwerte um	65,8118	233	o,2825	31,8
insgesamt	74,7926	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq 0$. da $F > F^{**}$.

32. Varianzanalyse bezüglich x_2/x_1

$\hat{Y} = -25,1967 + 1,ol7\ x_1 + o,o33\ x_2$; B = o,9231 ; R =

	SQ	FG	DQ	F-Wer
bezügl.b_1	69,o318	1		
zus.bez.b_2/b_1	o,oo95	1	o,oo95	o,38
auf der Rg	69,o413	2	34,52o6	
Einzelwerte um	5,7514	232	o,o248	1393
insgesamt	74,7927	234		

1. Ansatz: F= 1393 > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (~~nicht~~) sinnvoll; das B $\neq$0

2. Ansatz: F= o,38 < $F^{**}_{1;232}$:= 4,71 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabh. Variable x_2 ist (nicht) von Bedeutung.

EGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN

DAT 1o1169 NR oo3.oo9

. Merkmale, Mittelwerte und Standardabweichungen

12. Grundlagen

Merkmal	Durchschnitt $\bar{x}_i$	Stand'abw. s_i
AARE	54o,o68415	o,5294
SEE	557,6883	o,24o7
NIEDERSCHLAG	2,8347	2,4385
BR 09	542,9426	o,6782

$$(X'X) = \begin{pmatrix} N & Sx_1 & Sx_2 & Sx_3 & Sy \\ Sx_1 & Sx_1^2 & Sx_1x_2 & Sx_1x_3 & Sx_1y \\ Sx_2 & Sx_2x_1 & Sx_2^2 & Sx_2x_3 & Sx_2y \\ Sx_3 & Sx_3x_1 & Sx_3x_2 & Sx_3^2 & Sx_3y \\ & & & & Syy \end{pmatrix}$$

. Matrix der Quadrat- und Produktsummen $(X'X) = (Sx_ix_j)$

0	1	2	3	4
235	12692o,3o75	131o56,748o	666,1643	127591,5117
	68547999,4415	7o781987,23o3	35989o,oo14	6891o523,1927
		73o88827,1569	371543,5146	71156314,218
			3279,8832	361817,1o43
				69274975,1o59

. Matrix der Summen der "Abweichungsquadrate." (S_{ij})

1	2	3	4
65,586650	18,o5531o	1o3,712858	81,o6779o
	13,555400	31,485649	22,32o96o
		1391,479475	128,125211
			1o7,62553o

15. Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten r_{ij} -

1	2	3	4	ji'
1	o,6o5538	o,34331	o,9649o2	1
	1	o,229255	o,584385	2
		1	o,331684	3
			1	4

. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1)$ linear

= -124,6o4 + 1,236 x_1; B= o,931o3 ; r= ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
f der Rg	1oo,2o31	1	1oo,2o31	
nzelwerte um	7,4224	233	o,o319	3146
sgesamt	1o7,6255	234		

e Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0. da F > F** = 6,76.

16. Partielle Korrelationskoeffizienten r_{ij}

j'	1.Auswertung	2.Auswertung	3.Auswertung	4.Auswertung'
1	o,9649o1	o,96o492	o,9425o4	
3		-o,ooo714	-o,ooo728	
2			o,ooo5o4	

$\hat{Y}$ = -375,373 + 1,6467 x_2; B = o,3415 ; r = ;

$\hat{Y}$ = 542,6816 + o,o921 x_3; B = o,1o96 ; r= ;

. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_2)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
f der Rg	36,7547	1	36,7547	
nzelwerte um	7o,87o7	233	o,3o42	121
sgesamt	1o7,6254	234		

e Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0. da F > F**.

23. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_3)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	11,7976	1	11,7976	
Einzelwerte um	95,8279	233	o,4113	28,7
insgesamt	1o7,6255	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0. da F > F**.

. Varianzanalyse bezüglich x_3 /x_1

= -124,674 + 1,236x_1 - o,ooo1x_3 ; B = o,931o3 ; R = ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
zügl.b_1	1oo,2o31	1		
s.bez.b_3/b_1	- o,oooo4	1	-o,oooo4	
f der Rg	1oo,2o31	2	5o,1o15	
nzelwerte um	7,4225	232	o,o32	1566
sgesamt	1o7,6255	234		

Ansatz: F= 1566 > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (~~nicht~~) sinnvoll; das B $\neq$ 0;

Ansatz: F= 0 < $F^{**}_{1;232}$:= 6,76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Variable x_3 ist (nicht) von Bedeutung.

32. Varianzanalyse bezüglich x_2 /x_1

$\hat{Y}$ = - 124,81o3+1,236 x_1 + o,ooo5x_2 ; B = o,931o3 ; R = ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b_1	1oo,2o31	1		
zus.bez.b_2/b_1	- o,oooo1	1	-o,oooo1	
auf der Rg	1oo,2o31	2	5o,1o16	
Einzelwerte um	7,4224	232	o,o32	1566
insgesamt	1o7,6255	234		

1. Ansatz: F= 1566 > $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (~~nicht~~) sinnvoll; das B $\neq$ 0

2. Ansatz: F= 0 < ; $F^{**}_{1;232}$:= 6,76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabh. Variable x_2 ist (nicht) von Bedeutung.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 231169 NR oo3.oo9'

41. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1;x_2;x_3)$

Regressionsgleichung $\hat{Y} = -124,8662 + 1,236\ x_1 + o,ooo468\ x_2 - o,oooo5663\ x_3$;
Bestimmtheitsmass B = o,931o35 ; mehrfacher Korrelationskoeffizient R = o,9649o1

	SQ	FG	DQ	F-Werte
bezüglich b_1	1oo,2o3114	1		
zusätzlich bezüglich b_3/b_1	o,ooooo4	1		
bezüglich $b_1;b_3$	1oo,2o3118	2	5o,1o16	
zusätzlich bezüglich $b_2/b_1;b_3$	o,ooooo2	1	o,ooooo2	o,oooo586
auf der Regression	1oo,2o312	3	33,4o1o4	
Einzelwerte um die Regression	7,42241	231	o,o32132	1o39
insgesamt	1o7,62553	234		

Prüfverfahren:

1. Ansatz: F = 1o39 $>$; $F_{3;231}$:= 3,88 ; also ist die dreifache lineare Regression (~~nicht~~) sinnvoll; das Bestimmtheitsmass ist (~~nicht~~) signifikant $\neq 0$.

2. Ansatz: F = o,ooooo5 $<$; $F_{1;231}$:= 6.76 ; die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Veränderliche x_2 sagt (nichts) wesentliches aus; also folgt, dass wir uns mit der zweifachen linearen Regression ~~nicht~~ begnügen können.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 231169 NR oo3.olo'

41. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1;x_2;x_3)$

Regressionsgleichung $\hat{Y} = -35,2236 + 1,o716\ x_1 - o,oo17\ x_2 + o,oo1879\ x_3$;
Bestimmtheitsmass B = o,943169 ; mehrfacher Korrelationskoeffizient R = o,971169 ;

	SQ	FG	DQ	F-Werte
bezüglich b_1	75,6719	1		
zusätzlich bezüglich b_3/b_1	o,oo43	1		
bezüglich $b_1;b_3$	75,6762	2	37,8381	
zusätzlich bezüglich $b_2/b_1;b_3$	o,ooooo2	1	o,ooooo2	o,oo1
auf der Regression	75,67622	3	25,2254	
Einzelwerte um die Regression	4,5599	231	o,o197	128o
insgesamt	8o,2361	234		

Prüfverfahren:

1. Ansatz: F = 1280 $>$; $F^{**}_{3;231}$:= 3,88 ; also ist die dreifache lineare Regression (~~nicht~~) sinnvoll; das Bestimmtheitsmass ist (~~nicht~~) signifikant $\neq 0$.

2. Ansatz: F = o,oo1 $<$; $F^{**}_{1;231}$:= 6,76 ; die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Veränderliche x 2 sagt ~~(nichts)~~ wesentliches aus; also folgt, dass wir uns mit der zweifachen linearen Regression ~~nicht~~ begnügen können.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN

DAT 1o1169 NR o3.o1o

11. Merkmale, Mittelwerte und Standardabweichungen

i	Merkmal	Durchschnitt $\bar{x}_i$	Stand'abw. s_i
1	AARE	54o,o864	o,5294
2	SEE	557,6883	o,24o7
3	NIEDERSCHLAG	2,8347	2,4385
4	BR 1o	542,6275	o,5856

12. Grundlagen

$$(X'X) = \begin{pmatrix} N & Sx_1 & Sx_2 & Sx_3 \\ Sx_1 & Sx_1^2 & Sx_1x_2 & Sx_1x_3 \\ Sx_2 & Sx_2x_1 & Sx_2^2 & Sx_2x_3 \\ Sx_3 & Sx_3x_1 & Sx_3x_2 & Sx_3^2 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} Sy \\ Sx_1y \\ Sx_2y \\ Sx_3y \\ Syy \end{matrix}$$

13. Matrix der Quadrat- und Produktsummen $(X'X) = (Sx_ix_j)$

j	0	1	2	3	4
0	235	12692o,3o75	131o56,748o	666,1643	127517,4597
1		68547999,4415	7o781987,23o3	35989o,oo14	6887o518,o947
2			73o88827,1569	371543,5146	71115o13,349
3				3279,8832	361592,7639
4					69194559,o8o1

14. Matrix der Summen der "Abweichungsquadrate" (S_{ij})

j	1	2	3	4
1	65,586650	18,o5531o	1o3,712875	7o,449o2o
2		13,555400	31,485649	19,38519o
3			1391,479475	113,7o3122
4				8o,2361lo

15. Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten r_{ij}

1	2	3	4
1	o,6o5538	o,343310	o,971141
	1	o,229255	o,587799
		1	o,34o29
			1

21. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1)$ linear

$\hat{Y}$ = -37,499 + 1,o74 x_1; B=o,9431 ; r= ____ ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	75,6719	1	75,6719	
Einzelwerte um	4,5642	233	o,o196	3862,98
insgesamt	8o,2361	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol ~~(nicht)~~ gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq 0$. $F > F^{**}_{1;233} = 6,76$;

22. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_2)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	27,7222	1	27,7222	
Einzelwerte um	52,5139	233	o,2254	123
insgesamt	8o,2361	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol ~~(nicht)~~ gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq 0$. $F > F^{**}$;

31. Varianzanalyse bezüglich x_3/x_1

$\hat{Y}$ = -35,9o3+ 1,o7 x_1 + o,oo19 x_3 ; B = o,943169 ; R = o,971169;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b_1	75,6719	1		
zus.bez.b_3/b_1	o,oo43	1	o,oo43	o,2195
auf der Rg	75,6762	2	37,8381	
Einzelwerte um	4,5599	232	o,o197	1921
insgesamt	8o,2361	234		

1. Ansatz: F= 1921 > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist ~~(nicht)~~ sinnvoll; das B $\neq$ 0;

2. Ansatz: F= o,2195 < $F^{**}_{1;232}$:= 6,76 ; die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Variable x_3 ist (nicht) von Bedeutung.

16. Partielle Korrelationskoeffizienten r_{ij}

j	1.Auswertung	2.Auswertung	3.Auswertung	4.Auswertung
1	o,971141	o,967329	o,952271	
3		o,o3o746	o,o3o798	
2			-o,oo2267	

$\hat{Y}$ = -254,9o66 + 1,43 x_2; B = o,3455 ; r = ____;

$\hat{Y}$ = 542,3959 + o,o817 x_3; B = o,1158 ; r= ____;

23. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_3)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	9,2911	1	9,2911	
Einzelwerte um	7o,945	233	o,3o45	3o,5
insgesamt	8o,2361	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol ~~(nicht)~~ gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq 0$. F > F**;

32. Varianzanalyse bezüglich x_2/x_1

$\hat{Y}$ = -37,o856+ 1,o744 x_1 -o,oolol x_2 ; B = o,943115 ; R = o,971141 ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b_1	75,6719	1		
zus.bez.b_2/b_1	o,oooooo9	1	o,oooooo9	o,oo045
auf der Rg	75,6719	2	37,836	
Einzelwerte um	4,5642	232	o,o197	192o
insgesamt	8o,2361	234		

1. Ansatz: F= 192o > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist ~~(nicht)~~ sinnvoll; das B $\neq$ 0

2. Ansatz: F= o,oo045 ; $F^{**}_{1;232}$:= 6,76 ; die neu in die Rechnung einbezogene unabh. Variable x_2 ist (nicht) von Bedeutung.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 1o1169 NR oo3.o11

11. Merkmale, Mittelwerte und Standardabweichungen

i	Merkmal	Durchschnitt $\bar{x}_i$	Stand'abw. s_i
1	AARE	54o,o864	o,5294
2	SEE	557,6883	o,24o7
3	NIEDERSCHLAG	2,8347	2,4385
4	BR 11	541,3417	o,4872

12. Grundlagen

$$(X'X) = \begin{pmatrix} N & Sx_1 & Sx_2 & Sx_3 & Sy \\ Sx_1 & Sx_1^2 & Sx_1x_2 & Sx_1x_3 & Sx_1y \\ Sx_2 & Sx_2x_1 & Sx_2^2 & Sx_2x_3 & Sx_2y \\ Sx_3 & Sx_3x_1 & Sx_3x_2 & Sx_3^2 & Sx_3y \\ & & & & Syy \end{pmatrix}$$

13. Matrix der Quadrat- und Produktsummen $(X'X) = (Sx_ix_j)$

IJ	0	1	2	3	4
0	235	12692o,o3o8	131o56,748o	666,1643	127215,3o7
1		68547999,4415	7o781987,23o3	35989o,oo14	687o7317,1oo9
2			73688827,1569	371543,5146	7o9465o2,7994
3				3279,8832	36o72o,1863
4					68867olo,1534

14. Matrix der Summen der "Abweichungsquadrate." (S_{ij})

ij	1	2	3	4
1	65,58665o	18,o5531o	1o3,712858	58,o237oo
2		13,5554oo	31,485649	15,85791o
3			1391,479475	97,89o432
4				55,53592o

15. Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten r_{ij} =

1	2	3	4	ji
1	o,6o5538	o,343310	o,961415	1
	1	o,229255	o,577967	2
		1	o, 35214	3
			1	4

21. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1)$ linear

$\hat{Y}$ = 67,789688 + o,8768 x_1; B=o,92487 ; r= ____ ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	51,3329	1	51,3329	
Einzelwerte um	4 ,2o31	233	o,334	2846
insgesamt	55,5359	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / zufällig $\neq$ 0. da $F > F^{**}$ = 6,76.

16. Partielle Korrelationskoeffizienten r_j

j	1.Auswertung	2.Auswertung	3.Auswertung	4.Auswertung
1	o,961415	o,956157	o,936964	
3		o,o854	o,o86o4	
2			-o,o217	

$\hat{Y}$ = -111,o751 + 1,1699 x_2; B =o ,334 ; r = ____;

$\hat{Y}$ = 541,1423 + o,o7o3 x_3; B = o,2o88 ; r= ____;

22. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_2)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	18,5515	1	18,5515	
Einzelwerte um	36,9844	233	o,1587	117
insgesamt	55,5359	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0. da $F > F^{**}$.

23. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_3)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wer
auf der Rg	6,8866	1	6,8866	
Einzelwerte um	48,6493	233	o,2o88	33
insgesamt	55,5359	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = o,ol (~~nicht~~) gesichert; B und r sind signifikant / ~~zufällig~~ $\neq$ 0.da $F > F^{**}$.

31. Varianzanalyse bezüglich x_3/x_1

$\hat{Y}$ = 67,79 + o,877 x_1 + o,oo45 x_3 ; B =o,92487 ; R =o,9617 ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b_1	51,3329	1		
zus.bez.b_3/b_1	o,o3o7	1	o,o3o7	1,7o6
auf der Rg	51,3636	2	25,6818	
einzelwerte um	4,1724	232	o,o1798	1428
insgesamt	55,536	234		

1. Ansatz: F= 1428 > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (~~nicht~~)-sinnvoll;das B$\neq$ 0;

2. Ansatz: F= 1,7o6 < ; $F^{**}_{1;232}$:= 6,76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Variable x_3 ist (nicht) von Bedeutung.

32. Varianzanalyse bezüglich x_2/x_1

$\hat{Y}$=69,o3 + o,8884 x_1 - o,o134 x_2 ; B =o,924346 ; R =o,961429 ;

	SQ	FG	DQ	F-Wer
bezügl.b_1	51,3329	1		
zus.bez.b_2/b_1	o,oo15	1	o,oo15	o,o857
auf der Rg	51,3344	2	25,6672	
Einzelwerte um	4,2o15	232	o,o181	1418
insgesamt	55,5359	234		

1. Ansatz: F= 1418 > ; $F^{**}_{2;232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (~~nicht~~) sinnvoll; das B$\neq$ 0

2. Ansatz: F= o,o857 < ; $F^{**}_{1;232}$:= 6.76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabh. Variable x_2 ist (nicht) von Bedeutung.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 231169 NR oo3.oll'

41. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1;x_2;x_3)$

Regressionsgleichung $\hat{Y} = 74,0225 + 0,8809\ x_1 - 0,0152\ x_2 + 0,00504\ x_3$;
Bestimmtheitsmass $B = 0,924906$; mehrfacher Korrelationskoeffizient $R = 0,96172$;

	SQ	FG	DQ	F-Werte
bezüglich b_1	51,3328	1		
zusätzlich bezüglich b_3/b_1	0,0307	1		
bezüglich $b_1;b_3$	51,3635	2	25,6817	
zusätzlich bezüglich $b_2/b_1;b_3$	0,002	1	0,002	0,109
auf der Regression	51,3655	3	17,1218	
Einzelwerte um die Regression	4,1704	231	0,0181	946
insgesamt	55,5359	234		

Prüfverfahren:

1. Ansatz: $F = 946 > F^{**}_{3;231} := 3,88$; also ist die dreifache lineare Regression ~~(nicht)~~ sinnvoll; das Bestimmtheitsmass ist ~~(nicht)~~ signifikant $\neq 0$.

2. Ansatz: $F = 0,109 < F^{**}_{1;231} := 6,76$; die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Veränderliche x_2 sagt ~~(nichts)~~ unwesentliches aus; also folgt, dass wir uns mit der zweifachen linearen Regression ~~nicht~~ begnügen können.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 231169 NR oo3.o12'

41. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1;x_2;x_3)$

Regressionsgleichung $\hat{Y} = 157,46 + 0,804\ x_1 - 0,092\ x_2 + 0,0077\ x_3$;
Bestimmtheitsmass $B = 0,741402$; mehrfacher Korrelationskoeffizient $R = 0,861047$;

	SQ	FG	DQ	F-Werte
bezüglich b_1	41,0591	1		
zusätzlich bezüglich b_3/b_1	0,069	1		
bezüglich $b_1;b_3$	41,1281	2	2o,5641	
zusätzlich bezüglich $b_2/b_1;b_3$	0,073	1	0,073	1,173
auf der Regression	41,2011	3	13,7337	
Einzelwerte um die Regression	14,3707	231	0,0622	221
insgesamt	55,5718	234		

Prüfverfahren:

1. Ansatz: $F = 221 > F^{**}_{3;231} := 3,88$; also ist die dreifache lineare Regression (~~nicht~~) sinnvoll; das Bestimmtheitsmass ist ~~(nicht)~~ signifikant $\neq 0$.

2. Ansatz: $F = 1,173 < F^{**}_{1;231} := 6,76$; die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Veränderliche x_2 sagt ~~(nichts)~~ unwesentliches aus; also folgt, dass wir uns mit der zweifachen linearen Regression ~~nicht~~ begnügen können.

REGRESSION UND KORRELATION MIT 4 VARIABLEN DAT 101169 NR 03.012

11. Merkmale, Mittelwerte und Standardabweichungen

i	Merkmal	Durchschnitt $\bar{x}_i$	Stand'abw. s_i
1	AARE	540,0864	0,5294
2	SEE	557,6883	0,2407
3	NIEDERSCHLAG	2,8347	2,4385
4	BR 12	540,498	0,4873

12. Grundlagen

$$(X'X) = \begin{pmatrix} N & Sx_1 & Sx_2 & Sx_3 & Sy \\ Sx_1 & Sx_1^2 & Sx_1x_2 & Sx_1x_3 & Sx_1y \\ Sx_2 & Sx_2x_1 & Sx_2^2 & Sx_2x_3 & Sx_2y \\ Sx_3 & Sx_3x_1 & Sx_3x_2 & Sx_3^2 & Sx_3y \\ & & & & Syy \end{pmatrix}$$

13. Matrix der Quadrat- und Produktsummen $(X'X) = (Sx_ix_j)$

IJ	0	1	2	3	4
0	235	126920,3075	131056,7480	666,1643	127017,0270
1		68547999,4415	70781987,2303	359890,0014	68600222,6363
2			73088827,1569	371543,5145	70835922,0241
3				3279,8832	360151,7291
4					68652503,0098

14. Matrix der Summen der "Abweichungsquadrate" (S_{ij})

ij	1	2	3	4
1	65,586650	18,055310	103,712858	51,893430
2		13,555400	31,485649	13,516640
3			1391,479475	91,265748
4				55,571840

15. Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten r_{ij} -

1	2	3	4
1	0,605538	0,343310	0,859562
	1	0,229255	0,492476
		1	0,328203
			1

21. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_1)$ linear

$\hat{Y} = 113,17 + 0,7912\ x_1$; B= 0,7388 ; r= ;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	41,0591	1	41,0591	
Einzelwerte um	14,5128	233	0,0623	659,2
insgesamt	55,5719	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = 0,01 (höchst) gesichert; B und r sind signifikant / zufällig $\neq$ 0. F > F** = 6,76;

16. Partielle Korrelationskoeffizienten r_j

j	1.Auswertung	2.Auswertung	3.Auswertung	4.Auswertung
1	0,859562	0,841851	0,796887	
3		0,068976	0,071143	
2			0,071071	

$\hat{Y} = -15,5957 + 0,9971\ x_2$; B = 0,2425 ; r = ;

$\hat{Y} = 540,312 + 0,0656\ x_3$; B = 0,1077 ; r= ;

22. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_2)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-Wert
auf der Rg	13,478	1	13,478	
Einzelwerte um	42,0938	233	0,1807	74,6
insgesamt	55,5718	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = 0,01 (höchst) gesichert; B und r sind signifikant / zufällig $\neq$ 0. da F > F**;

23. Varianzanalyse $\hat{Y} = f(x_3)$ linear

	SQ	FG	DQ	F-
auf der Rg	5,986	1	5,986	
Einzelwerte um	49,5858	233	0,2128	28
insgesamt	55,5718	234		

Die Regression ist zur Sicherheitsschwelle α = 0,01 (höchst) gesichert; B und r sind signifikant / zufällig $\neq$ 0.da F > F**;

31. Varianzanalyse bezüglich x_3/x_1

$\hat{Y} = 119,56 + 0,799\ x_1 + 0,00075\ x_3$; B = 0,740089 ; R = 0,86028;

	SQ	FG	DQ	F-Wert
bezügl.b_1	41,0591	1		
zus.bez.b_3/b_1	0,069	1	0,069	1,109
auf der Rg	41,1281	2	20,5641	
einzelwerte um	14,4437	232	0,0623	330,08
insgesamt	55,5718	234		

1. Ansatz: F= 330 > ; $F^{**}_{2,232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (nicht) sinnvoll;das B $\neq$ 0;

2. Ansatz: F= 1,109 <; $F^{**}_{1,232}$:= 6,76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabhängige Variable x_3 ist (nicht) von Bedeutung. da F < F**.

32. Varianzanalyse bezüglich x_2/x_1

$\hat{Y} = 149,81 + 0,8155\ x_1 - 0,089\ x_2$; B = 0,740087 ; R = 0,860283;

	SQ	FG	DQ	F-W
bezügl.b_1	41,0591	1		
zus.bez.b_2/b_1	0,0689	1	0,0689	1,107
auf der Rg	41,128	2	20,564	
Einzelwerte um	14,4439	232	0,0623	330,08
insgesamt	55,5719	234		

1. Ansatz: F= 330 >; $F^{**}_{2,232}$:= 4,71 ; die zweifache lin.Rg ist (nicht) sinnvoll; das B $\neq$ 0.

2. Ansatz: F= 1,107 <; $F^{**}_{1,232}$:= 6,76 ;die neu in die Rechnung einbezogene unabh. Variable x_2 ist (nicht) von Bedeutung. da F < F**.

5.6 Matrix der Quadrat-und Produktsummen der Abweichungen vom Mittelwert der Abhängigen

	AARE	BR 01	BR 02	BR 03	BR 04	BR 05	BR 06	BR 07	BR 08	BR 09	BR 10	BR 11	BR 12
AARE	66,5o156o	81,58341o	74,479994	82,783o3o	77,41677o	57,77988o	65,64428o	57,38114o	66,32o83o	85,7385oo	77,81281o	61,47388o	52,68413o
BR 01		251,42837o	11,483o66o	126,88563o	167,7525oo	42,11o21o	118,32565o	66,o6429o	74,54355o	141,24387o	165,63197o	121,76o39o	89,59594o
BR 02			153,675o66o	77,3o358o	49,135o66o	89,32821o	56,8546oo	74,28o83o	82,55642o	74,229o2o	43,72185o	43,73o85o	49,oo38oo
BR 03				128,1516oo	1o6,88993o	72,71157o	92,7o514o	71,22286o	86,2o638o	127,26433o	123,387o9o	91,5598oo	73,26836o
BR 04					131,132ooo	54,26243o	95,634ooo	65,75o38o	75 ,44782o	118,83544o	125,81948o	94,697o7o	74,o95o7o
BR 05						75,62822o	54,3o875o	58,85345o	65,97874o	71,o6147o	54,15377o	47,71674o	46,38811o
BR 06							79,3173oo	58,85812o	66,96213o	97,9o48oo	98,71422o	76,28986o	62,23422o
BR 07								55 ,91o69o	61,69158o	72,85825o	63,o3157o	53,2o537o	48,7o646o
BR 08									73,6433oo	88,44576o	77,29o98o	62,25844o	54,71598o
BR 09										134,79831o	132,69852o	97,4o288o	76,6963oo
BR 10											141,2o11oo	1o1,1436oo	75,68156o
BR 11												76,78984o	6o,44274o
BR 12													59,64o2oo

6. ERGEBNISSE

6.0 Geleitwort

In den § 1 bis § 4 nehme ich Stellung zu den partiellen Fragen aus 1.2 Seite 56. In § 5:Ausschnitte der graphischen Darstellungen der Variablenschwankungen in Abhängigkeit der Zeit. In § 6 werden Grundwasserisohypsen aufgezeichnet und besprochen. In § 7 wird die Hauptrechenarbeit erläutert und in § 8 werden zusätzliche Studien skizziert und interpretiert.

6.1 Menge der unabhängigen Variabeln

Aus der Menge der möglichen Variabeln:

- Vorfluter
- See
- Gebietsniederschläge
- Hangniederschläge
- Kander (ehemaliger Fluss durch dieses Gebiet)
- Verdunstung
- Luftfeuchtigkeit
- Temperatur
- Wind
- Strahlung, Besonnung
- Härte
- chemische Variable

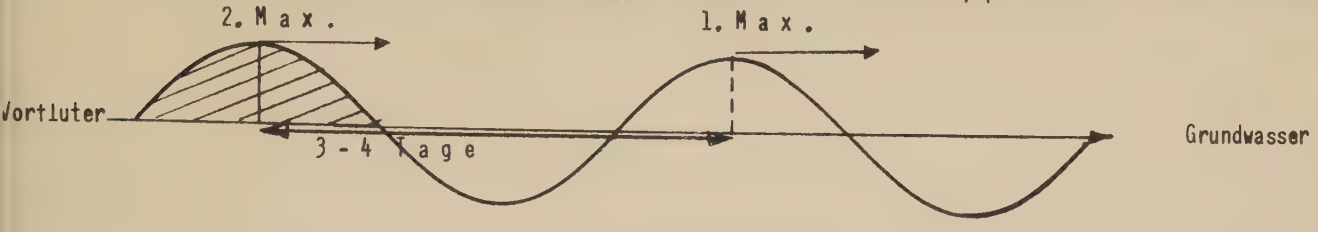
wurden nur deren drei als unabhängig erklärt und berücksichtigt.:

- Aare
- See
- Niederschläge.

Nicht untersucht wurde die Variabilität der chemischen Variabeln, der Strahlung, der Temperatur, der Feuchtigkeit und der Kander, die bis 1714 (s.Seite 59) ihren Lauf durch dieses Gebiet nahm. Die Möglichkeit der gewichtigen Einflussnahme der Verdunstung, der externen Hangniederschläge wurde in 2.7 Seite 6o , in 3.3 Seite 65 , in 5.1 Seite 88 ff besprochen und zurückgestellt.

6.2 Die Form der Berücksichtigung der Unabhängigen

Die Untersuchungen hierzu sind in 3.3 Seite 112 bis 3.5 Seite 67 skizziert worden. Es zeigte sich (für Beobachtungsrohre entfernt von der Aare), dass bei der A a r e der gemittelte aktuelle Wert in erster Linie, und in zweiter Linie ein Wert von drei oder vier Tagen vorher das Grundwasserniveau beeinflussen. Die I d e e , dass der Vorfluter das Grundwasser im Sinne e i n e r D o p p e l w e l l e beeinflussen könnte,



dass gewissermassen das erste Maximum eine hydrostatische Wirkung oder eine Art Druckfortpflanzung (man denke an den elektrischen Strom, der (d.h. der Elektronenstoss) sich mit Lichtgeschwindigkeit in Leitungen fortbewegt, nicht aber die Elektronen selbst!) und das zweite Maximum die ankommende Wassermenge darstellt (d.h. die Elektronen selbst). Ich bin mir bewusst, dass diese These bis anhin nirgends m.W. aufgestellt, weder experimentell, noch empirisch bewiesen wurde. Es sei hier einzig die Frage erlaubt, ob nicht ähnliche Erscheinungen in anderen Situationen festgestellt wurden ?

Dies kommt auch in der Graphik Seite 115 zum Ausdruck, wo die Diagrammsäulen von

{c} ~ "einen Tag vorher"

{f} ~ "drei Tage vorher"

l a n g sind. Doch lieferte im allgemeinen die Modifikation

{b} ~ "gemittelter aktueller Wert" <--- $\{b\} := {}^{1}/_{4} \cdot (2 \cdot x_t + x_{t-1} + x_{t-2})$;

den engsten Zusammenhang. Der Einbezug des zweit- und direkt vorhergehenden Tages erlaubt auch eine Art von Autokorrelation; denn erstens dürfte feststehen, dass ein hoher Wasserstand in drei aufeinanderfolgenden Tagen einen merklich grösseren Anstieg des Grundwassers autzeit, da ein e i n z e l n e r Aareanstieg vielleicht nur das Verdunstungsdefizit des Bodens zu decken vermag und die Retension sättigt. Ich weiss nicht - und dies wäre eine weitere, wohl zu beachtende Moditikation {i}, die aut den obigen Sachverhalt vermehrt Rücksicht nehmen würde -, ob

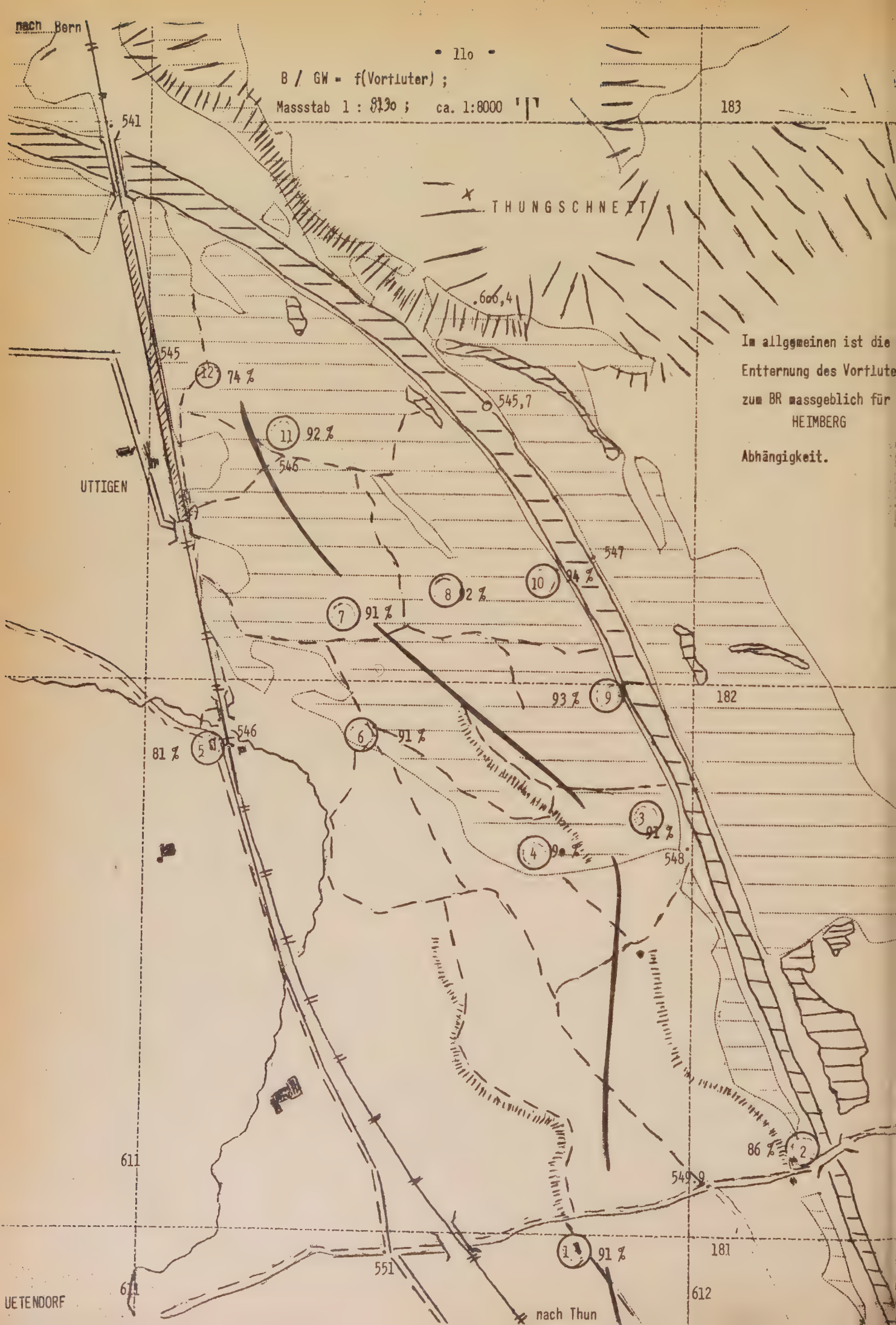
$$\{i\} := {}^{1}/_{10} \cdot (4 \cdot x_t + 3 \cdot x_{t-1} + 2 \cdot x_{t-2} + x_{t-3})$$

nicht unserer Fragestellung näher gekommen wäre. In Anbetracht, der bis anhin erreicnten Güte des korrelativen Zusammenhangs $\{ 73 < B < 93 \}$ % habe ich aut weitere Gewichts-moditikationen der gleitenden Mittel verzichtet.

Aut der folgenden Seite werden die Bestimmtheitsmasse B zwischen Grundwasser und Aare in Abhängigkeit des Ortes angegeben; das B gibt den Anteil der Summe der Quadrate an, die aus den Unterschieden in der andern Variabeln erklärt werden kann (s. Seite 74).

B / GW = f(Vorfluter) ;

Massstab 1 : 8130 ; ca. 1:8000



Im allgemeinen ist die Entfernung des Vorfluters zum BR massgeblich für HEIMBERG Abhängigkeit.

Die für die Variable S e e zu berücksichtigende Mittelbildungen lauteten:

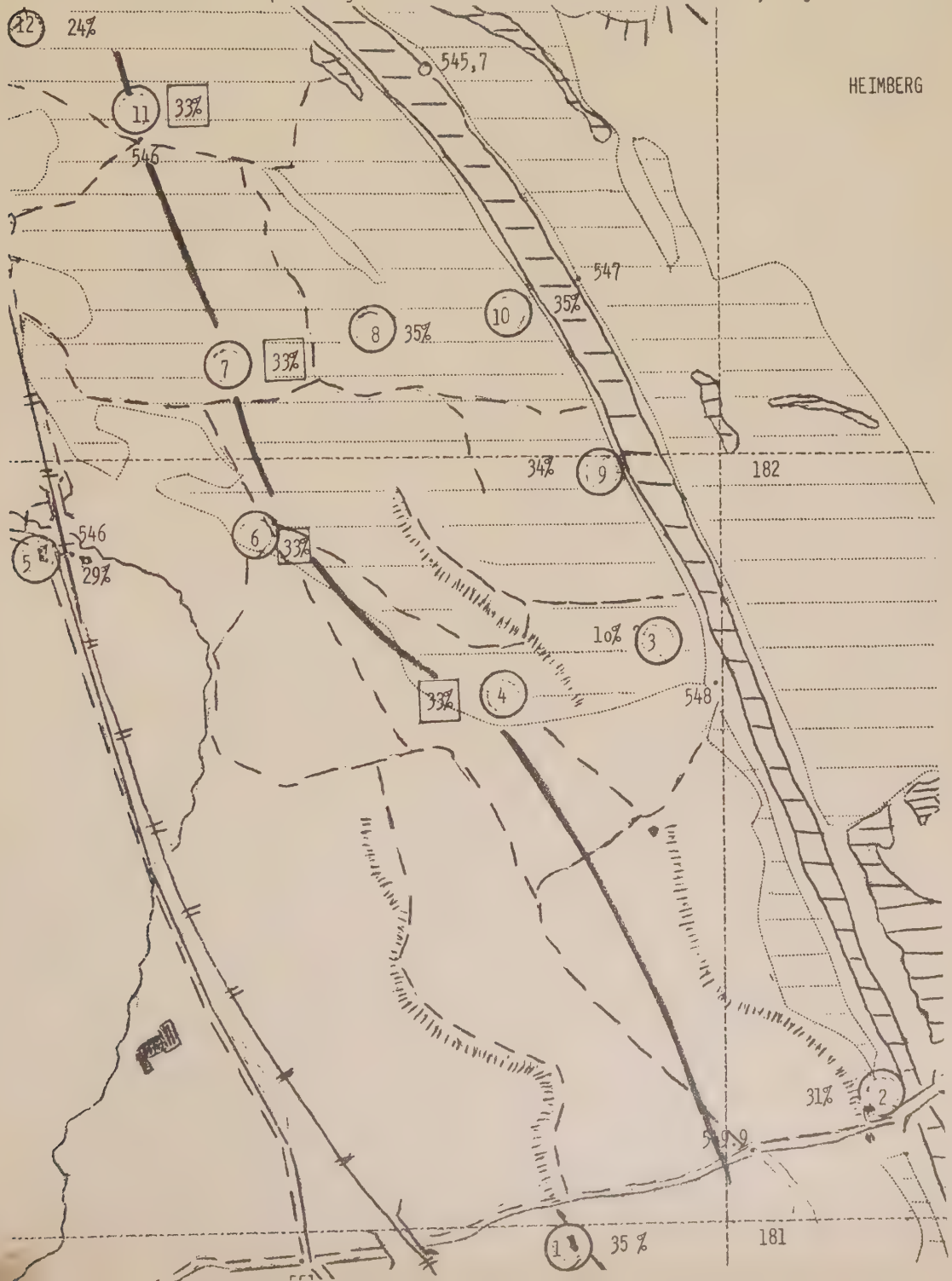
{h} .. „arithmetisches Mittel der sechs vorangehenden Tage" oder

{d} .. „zweit-vorhergehender Tag".

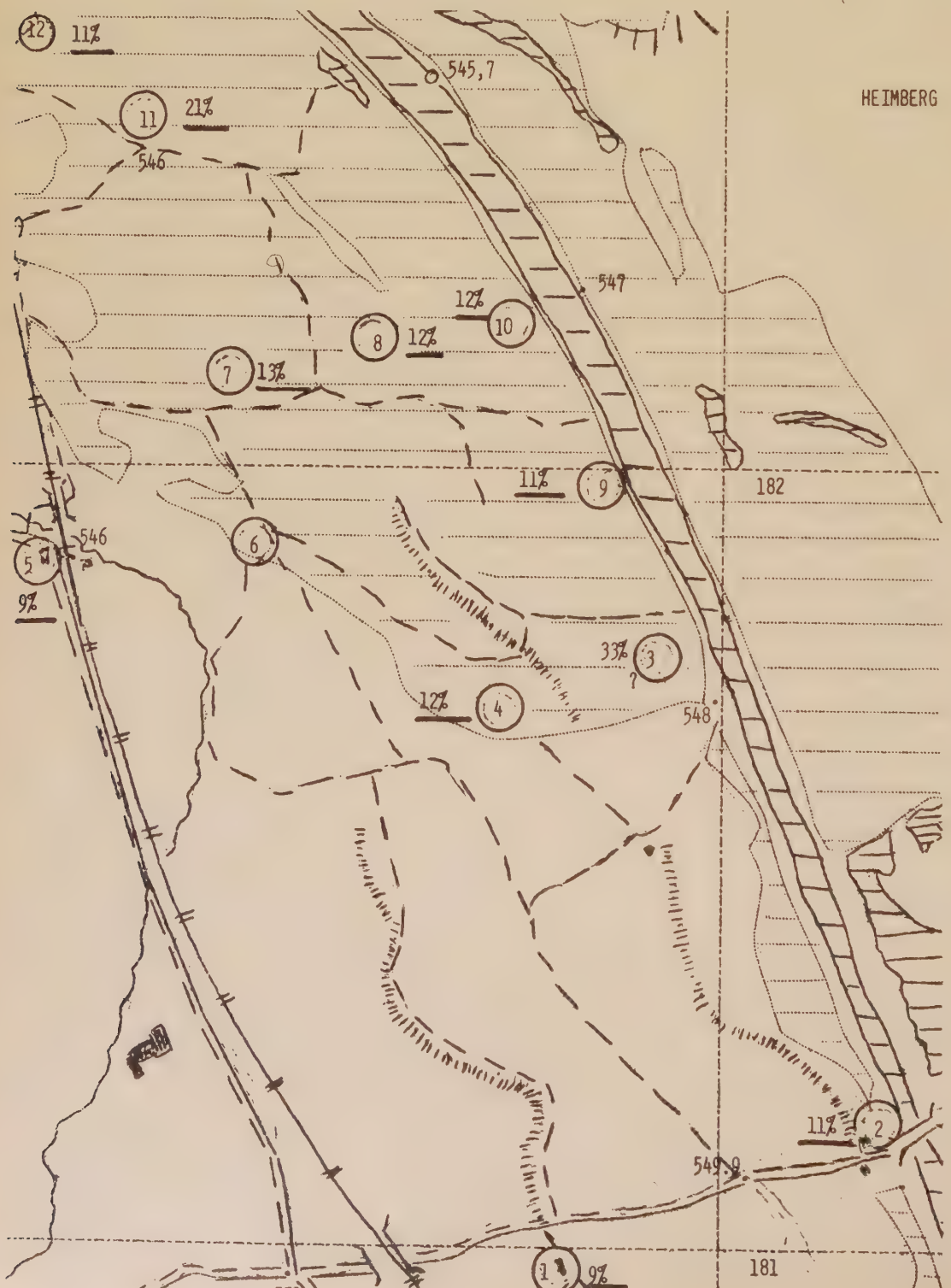
Alle andern Mittelbildungen mussten als unqualifiziert zurückgewiesen werden, wie die Graphik S. 115 zeigt. Die Wahl fiel dann auf {d}, nachdem die Graphen des Grundwassers und des Sees nochmals verglichen wurden (§5).

Der Gedanke - in 3.0 Seite 109 skizziert -, dass die Seespiegelschwankungen besonders bei Spitzenwerten i n d i r e k t p r o p o r t i o n a l zu den Vorfluterbewegungen sind, erlaubt die Vermutung, dass der See die F u n k t i o n e i n e s G r u n d w a s s e r r e g u l a t o r s besitzt. Ein Nachweis hierzu ist aus den angestellten Berechnungen nicht mit Sicherheit zu erbringen. Experimentell müsste hierzu Spurenversuche (Isotope, Färbungen, Salze, ...) vom See ins Grundwasser durchgeführt werden.

Die untenstehende Graphik zeigt die Bestimmtheitsmasse B des Grundwassers, verglichen mit dem See.



Für die N i e d e r s c h l ä g e ersehen wir aus der Rangitizierung auf Seite 115, dass das sechstägie arithmetische und das vier-Tage-vorher gewichtete Mittel eine durchschnittlich gute Korrelation versprechen; ob dem unmittelbaren aktuellen Niederschlagswert eine solche Bedeutung (dritte Stelle!) für das Grundwasser zukommt, glaube ich weniger. Vielmehr scheint dies die direkte Folge des Vorfluteranstieges zu sein und nicht die des Gebietsniederschlages in das Grundwasser, Obschon in die Rechnungen das beste, langfristige Sechstagemittel für den Niederschlag genommen wurde, ergab sich durchwegs das überraschende Resultat, dass der Einbezug dieser Variablen für die Regression u n b e d e u t e n d ist und sogar vernachlässigt werden darf, ohne dass die Güte der Korrelation merklich vermindert wird. In der untenstehenden Darstellung sind die Bestimmtheitsmasse der Funktionen GW = f(N) ersichtlich.



6.3 Abhängigkeit zwischen dem Grundwasser und den einzelnen unabhängigen Variabeln

Tabelle der Bestimmtheitsmasse (s. Seite 74) der einfachen linearen Regressionen (aus Seite 99 bis Seite 106); j := Nummer der einzelnen Messstellen.

j	AARE	SEE	NIEDERSCHLAG
1	o,91	o,35 <>	o,o9
2	o,86	o,31	o,11
3	o,9	o,1o <>	o,33 <>
4	o,9	o,33	o,12
5	o,81	o,29	o,o9
6	o,91	o,33	<>
7	o,91	o,33	o,13
8	o,92	o,34	o,12
9	o,93	o,34	o,11
1o	o,94 <>	o,34	o,12
11	o,92	o,33	o,21
12	o,74 <>	o,24	o,11
$\bar{B}$	o,897	o,318	o,121

<> := diese Messungen wurden bei der Mittelbildung nicht berücksichtigt.

Bei den Mittelbildungen wurden die höchsten und die niedrigsten Werte gestrichen (als zufällig fehlerhaft bewertet). So zeigt sich im Mittel, dass

- mit 90 % Bestimmtheit aus den Schwankungen der A a re auf die Grundwasserspiegel-schwankungen geschlossen werden darf,
- mit 32 % Bestimmtheit aus den Schwankungen des Sees auf die Grundwasserspiegel-schwankungen geschlossen werden darf,
- mit 12 % Bestimmtheit aus den Schwankungen des N i e d e r s c h l a g e s auf die Grundwasserspiegelschwankungen geschlossen werden darf.

Für das abweichende Resultat bei Beobachtungsrohr 2 liess sich keine Erklärung bezüglich des Aareeinflusses finden, auch nicht bei Beobachtungsrohr 3 bezüglich der "Inversität" des See- und des Niederschlageinflusses.

Aus Karte Seite 164 ist die Tendenz ersichtlich, dass die"Linien gleicher Bestimmtheit Aare - Grund-wasser" annähernd parallel zum Vorfluter verlaufen. Die eingezogene 90½ %-Bestimmtheitslinie veranschaulicht diesen Sachverhalt:

- östlich von ihr sind $B_j > 90\frac{1}{2}\,\%$ und
- westlich von ihr sind $B_j < 90\frac{1}{2}\,\%$.

Interessant sind die"Linien gleicher See-Grundwasser-Bestimmtheit", die n i c h t erwartungs-gemäss ebenfalls parallel zur Aare sind. In der Karte auf Seite 165 ist die 33%-Linie eingezeichnet:

- östlich von ihr sind $B_j > 33\ \%$ und
- westlich von ihr sind $B_j < 33\ \%$.

Eine unerklärte Anomalie bildet Beobachtungsrohr 3. Die Verwandtschaft mit der Aare-Grundwasser-Bestimmtheitslinie deutet auf die Abhängigkeit vom See zur Aare hin. Die früher erwähnte (Seite 62 und Seite 111) Vermutung der indirekten Proportionalität findet bei dieser summarischen Betrachtung keine Bestätigung. Es kann sein, dass die Regulierung der Schleusen seltener waren oder dass deren Wirkung bei den Dreitagemessungen zu kurztristig war. Es wird sich im folgenden Paragraphen § 4 zeigen, ob die Variabilität des Sees - unter der Voraussetzung, dass die Variabilität der Aare gleichzeitig berücksichtigt wird - für das Grundwassergeschehen bedeutungsvoll ist oder nicht. Unser mittleres Bestimmtheitsmass von 32 % bestätigt jedoch sicher die Annahme (Seite 111), dass der See mindestens auf das Grundwasser eine regulative Wirkung ausübt.

Die 12 % mittlere Bestimmtheit zwischen N i e d e r s c h l a g und Grundwasser (Karte Seite 112) verteilt sich ziemlich regelmässig auf das Grundwassergebiet, was auch zu erwarten war (zu kleiner topographischer Stichprobenraum). Eine unbedeutende e r s t e Tendenz ist die i.a. leicht steigende Bestimmtheit von Westen nach Osten; auch hier ist offensichtlich die verstärkende Wirkung der Aarevariabeln verantwortlich, die ihrerseits ja auch vom Niederschlag abhängig ist. Eine z w e i t e überraschende Tendenz ist die unmerklich wachsende Bestimmtheit von Süden nach Norden, die vielleicht (bei grösserem Niederschlag) von der indirekten Proportionalität (S. 62) vom See zur Aare herstammen könnte. { Keine Erklärung fand ich für die Anomalie bei Messstelle 3}.

6.4 Grundwasser in Abhängigkeit von allen drei Variabeln

j	AARE	AARE, NIEDERSCHLAG	AARE,SEE,NIEDERSCHLAG
1	9o,77	9o,77	9o,82
2	85,5	85,51	
3	9o,34	9o,34	9o,34
4	9o,o4	89,34	9o,o8
5	81,o6	81,o6	81,o6
6	91,19	91,24	91,25
7	9o,6	9o,7	9o,97
8	92,3	92,33	92,34
9	93,1	93,1	93,1
10	94,31	94,32	94,32
11	92,49	92,49	92,49
12	73,88	74,o1	74,14

Bestimmtheitsmasse in Prozenten.

Aus der obenstehenden Tabelle der Bestimmtheitsmasse, wonach sequentiell stets eine neue Variable gemass ihrer relativen Bedeutung in die Korrelation einbezogen wurde, zeigt sich, dass

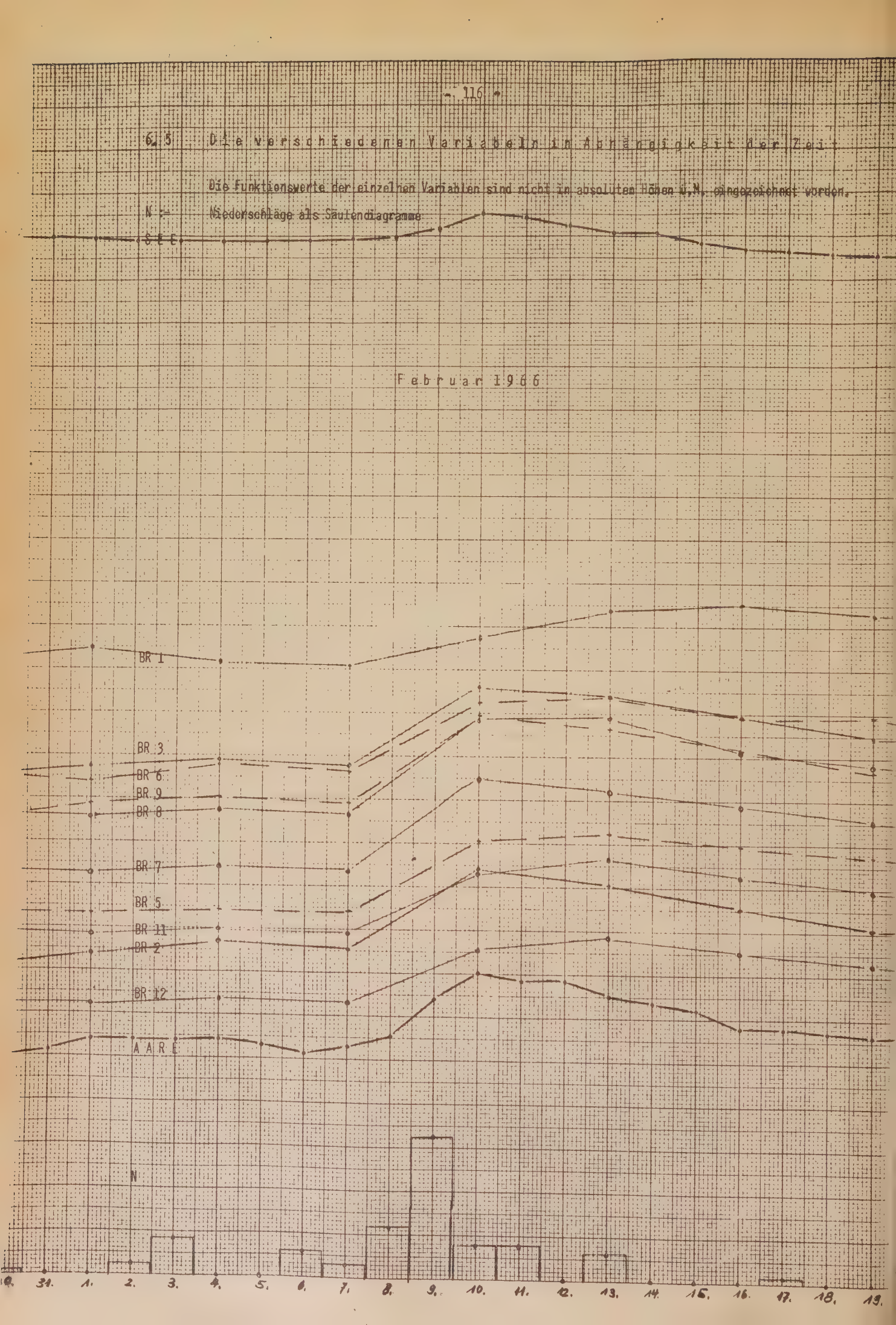
- in 7 Fällen die Bestimmtheit unbedeutend verbessert wurde durch Einbezug neuer Variabeln,
- in 4 Fällen die Bestimmtheit gleich blieb durch Einbezug neuer Variabeln und
- in 1 Fall (BR 4) die Bestimmtheit zuerst sank, dann leicht anstieg.

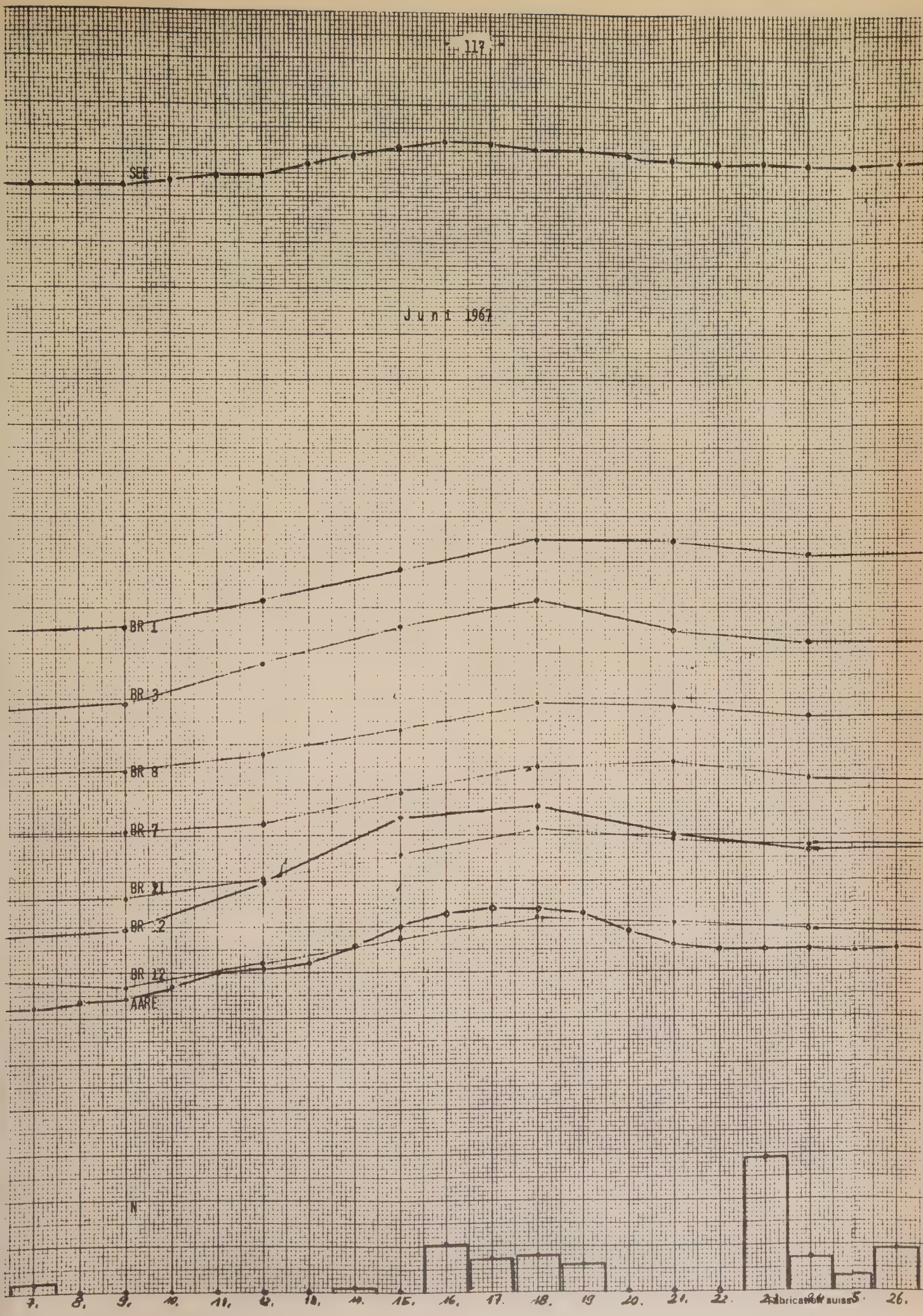
Die Varianzanalysen (Seite 89 bis Seite 1o6) beantworteten die Frage nach dem Sinn der Mitberücksichtigung der Variabeln (See, Niederschlag) eindeutig negativ. Wir wissen somit statistisch genau, dass für dieses Grundwassergeschehen die Variabilität der Aare die Hauptursache und dass die Einflüsse von See und Niederschlag aut das Grundwassergeschehen nur zufälliger Natur ist.

6.5 Die verschiedenen Variablen in Abhängigkeit der Zeit

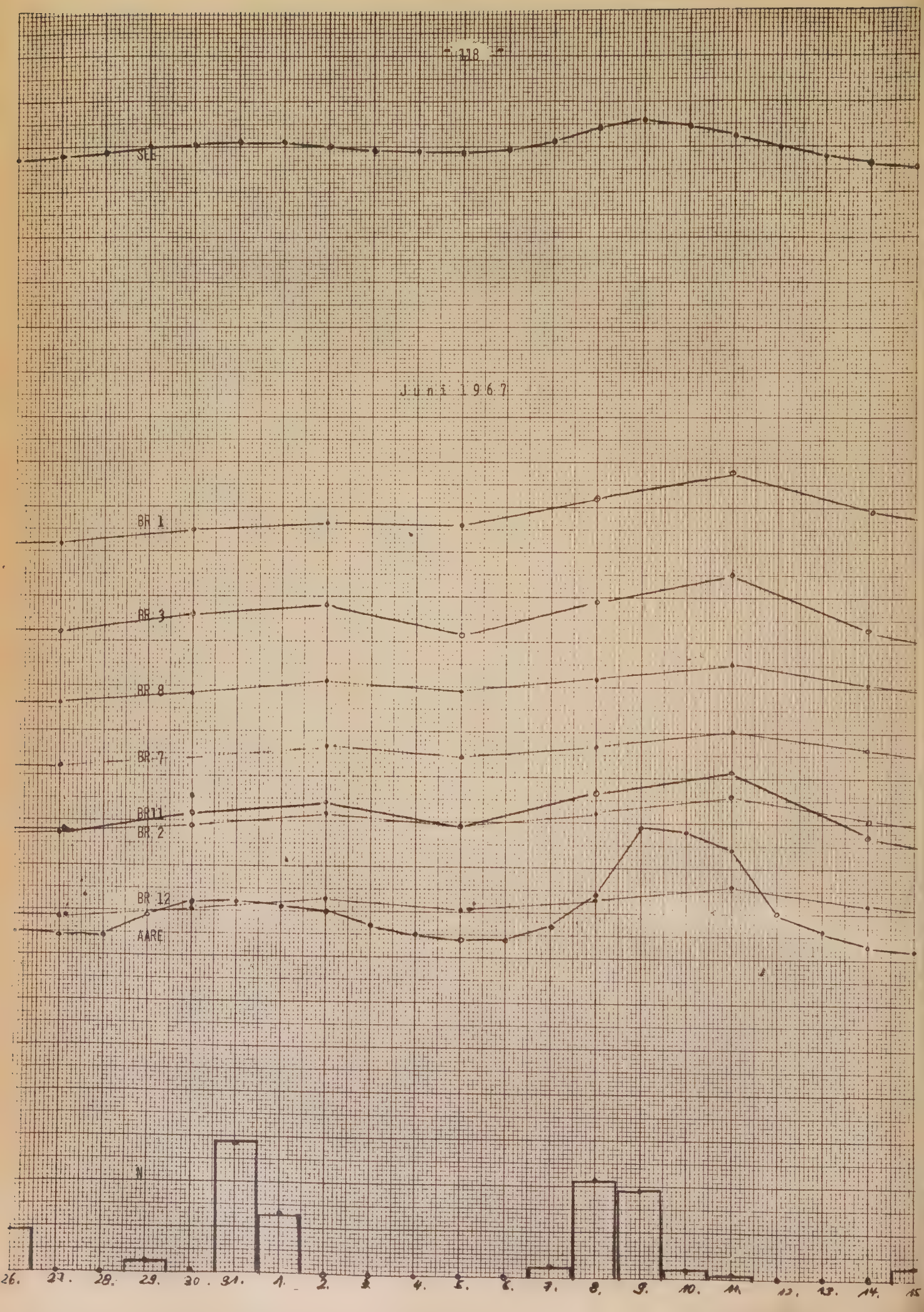
Die Funktionswerte der einzelnen Variablen sind nicht in absoluten Höhen u.N. eingezeichnet worden.

N := Niederschläge als Säulendiagramme





Fabrication suisse


SLE
Juni 1967
BR 1
BR 3
BR 8
BR 7
BR11
BR 2
BR 12
AARE
N
26.
27.
28.
29.
30.
31.
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.
11.
12.
13.
14.
15

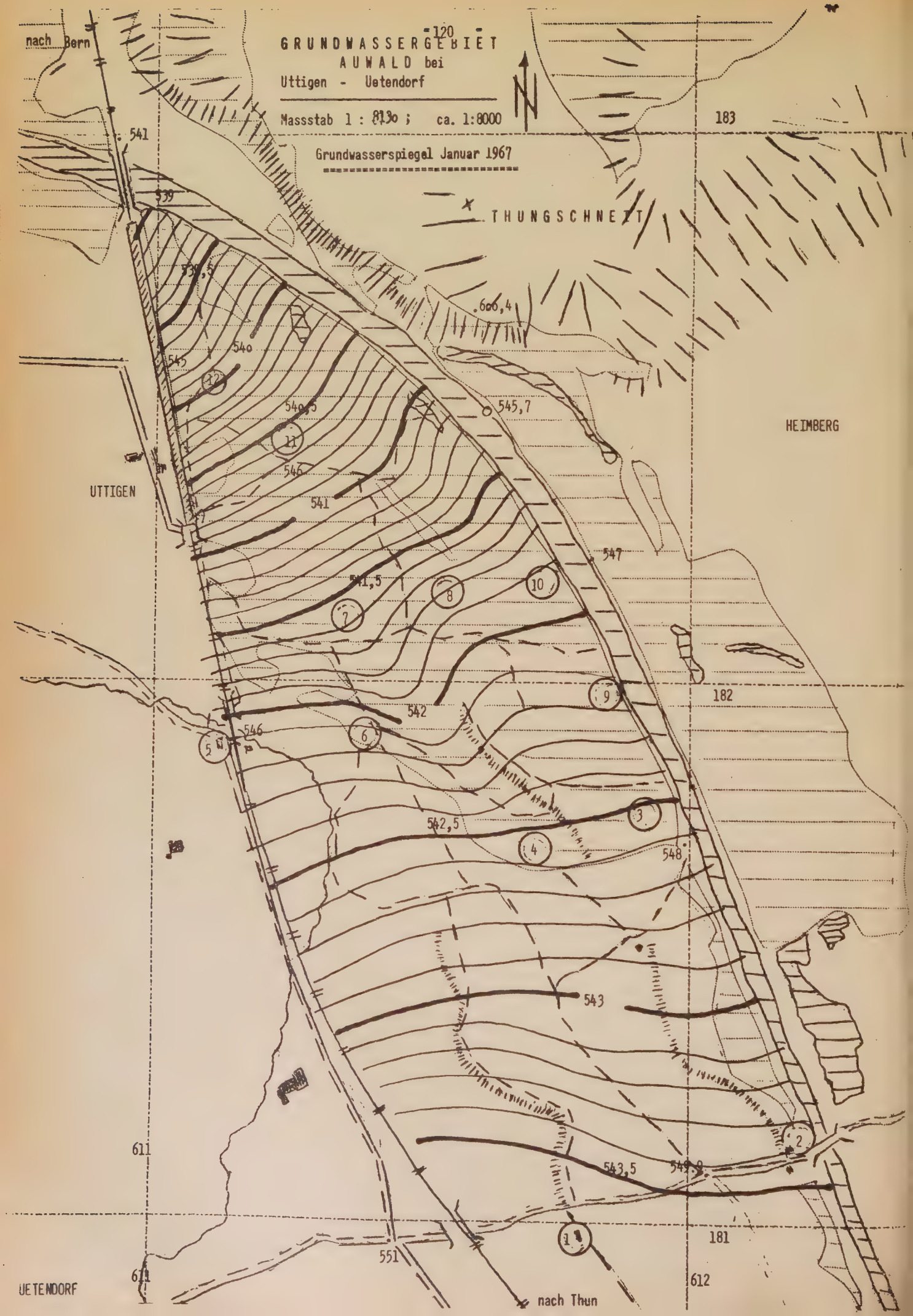
Die Graphiken dienten hauptsächlich der Aufgabe, die zeitlichen Verschiebungen der Einflüsse der Unabhängigen auf das Grundwasser abzuschätzen. In den auf Seiten 17o bis Seite 173 gezeigten Bildern, die interessante Schwankungen zeigen, ersieht man leicht, dass solche zeitliche Verschiebungen nicht gross sein können. Der Niederschlag muss nicht unmittelbar einen Einfluss auf das Grundwasser haben; wohl hat man diesen Eindruck von Seite 17o, doch schon Seite 171 ganz rechts verrät, dass evtl. die Verdunstung oder ausgetrockneter Boden diesen Einfluss schmälern kann. Die Aareschwankungen sind sehr ausgeprägt, weniger die des Grundwassers,und die Seeabweichungen sind gering und ausgeglichen. - Hier ist vielleicht anzufügen, weswegen bei der Wahl des gewichteten gleitenden Mittels auf das langfristige Mittel verzichtet wurde; m.E. hat es bei einem solch ausgeglichenen Graphen - wie der SEE es zeigt - keinen Sinn noch stärker zu glätten , wie es eine Mittelbildung eben tut. Im allgemeinen sind die Winterkurven besser interpretierbar, als die Sommerkurven (Verdunstung, Retension, Bodenbeschattenheit ... Wind). - Manchem Leser wird beim Vergleich der Graphen und der Ergebnisse der Rechnungen das Verständnis für den Wert der Korrelationen aufgehen; ein blosses Interpretieren der Graphen, bringt niemals die zuverlässigen Resultate, wie eine statistische Analyse.

6.6 Linien gleichen Grundwasserstandes

Die extrapolierten "Linien gleichen Grundwasserstandes" im Winter 67 und Sommer 67 zeigen das Grundwassergefälle parallel der Aare; besonders gegen das Engnis des Thungschneitwaldes nimmt das Gefälle stark zu. Aus diesen Linien ist ein direkter seitlicher Einfluss der Aare nicht ersichtlich. Auch hier wiederum taucht unvermutet die Frage (s. Seite 163) eines hydrostatischen Ausgleichs wieder auf, und zwar zu ungunsten einer Aareinfiltration. Aus den Linien lässt sich auch das durchschnittliche

	Wasserspiegelgefälle	im Winter	1 : 57o	und
		im Sommer	1 : 5oo	berechnen; trotzdem
sind die	Fliessgeschwindigkeiten	im Winter	(17 - 33 m/d)	geringer als
		im Sommer	(2o - 37 m/d)	Lit. 2o4.13

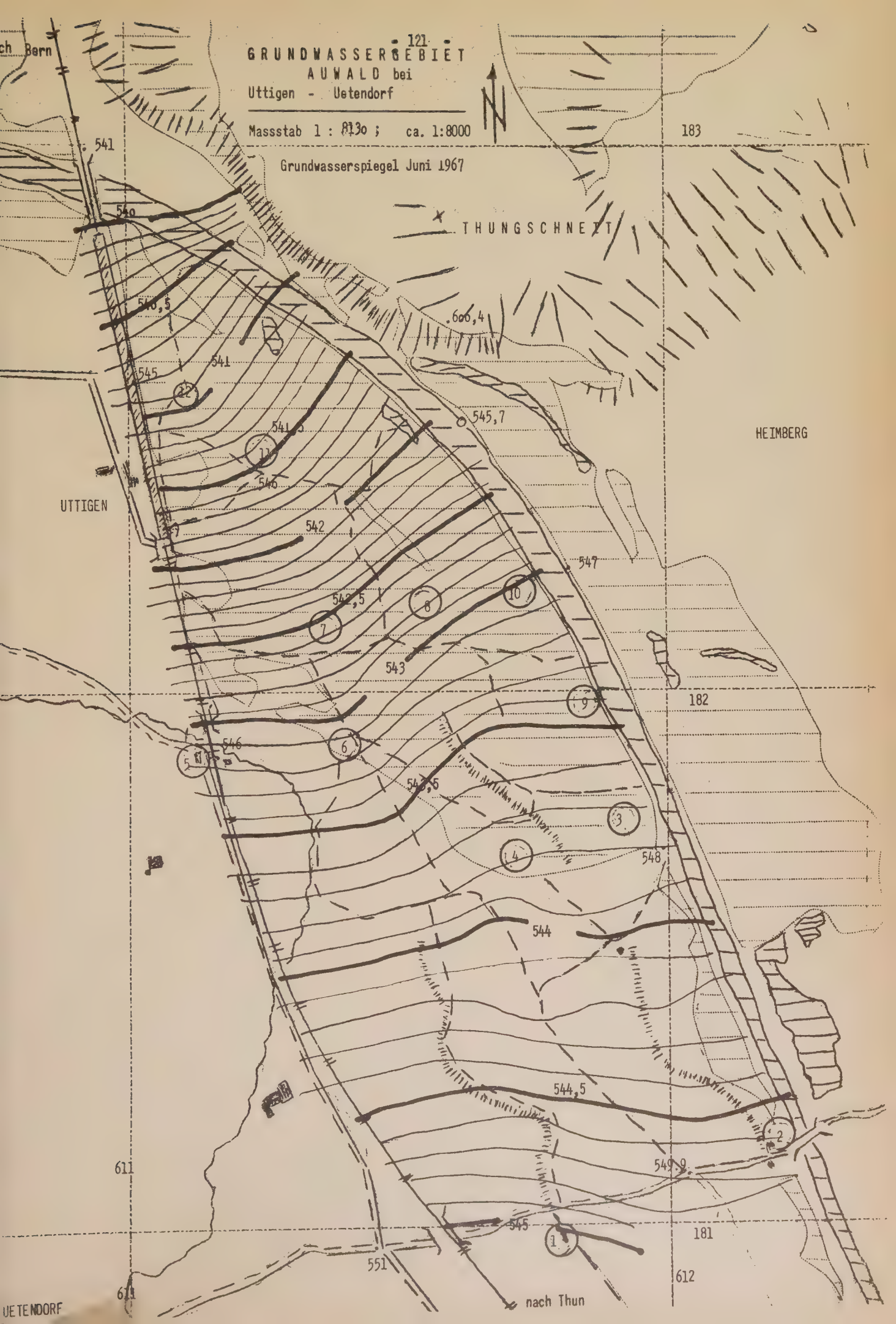
Dies ist eine Folge der unterschiedlichen Mächtigkeit des Grundwassers im Winter verglichen mit der im Sommer.


GRUNDWASSERGEBIET
AUWALD bei
Uttigen - Uetendorf
Massstab 1 : 8130 ; ca. 1:8000
Grundwasserspiegel Januar 1967
nach Bern
THUNGSCHNEIT
HEIMBERG
UTTIGEN
UETENDORF
nach Thun
606,4
545,7
547
542
542,5
548
543
543,5
549,8
551
541
539
540
545
546
541,5
183
182
181
612
611

GRUNDWASSERGEBIET AUWALD bei Uttigen - Uetendorf

Massstab 1 : 8130 ; ca. 1:8000

Grundwasserspiegel Juni 1967

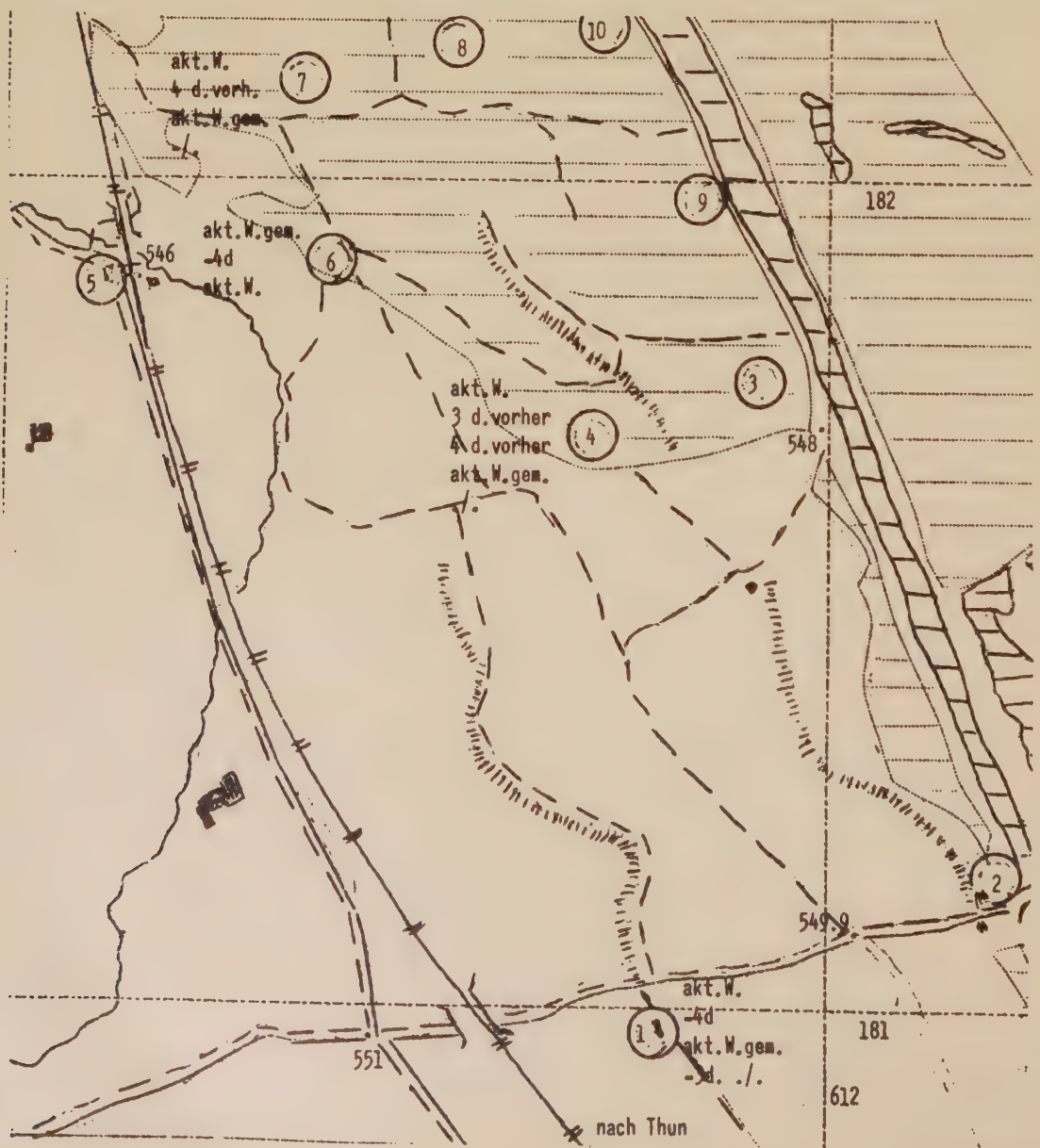


6.7 Fragmente - Studien

<> BR 6 = f(-4^d; -3^d; akt.; akt.gem.; -1^d; -2^d; vorhergehendes BR 6_{-1})

Reihenfolge der Bedeutung:	1.	akt. gem. 241o **	>	6,76 F**	signifikant ≠ 0
	2.	-4^d 1o,7**	>	4,71	"
	3.	akt. 18,58 **	>	3,88	"
	4.	-3^d o,2	<	3,41	zufällig
	5.	vorhergenendes o,17	<	3,11	"
	6.	-1^d o,oo1	<	2,89	"
	7.	-2^d o,oo2	<	2,73	"

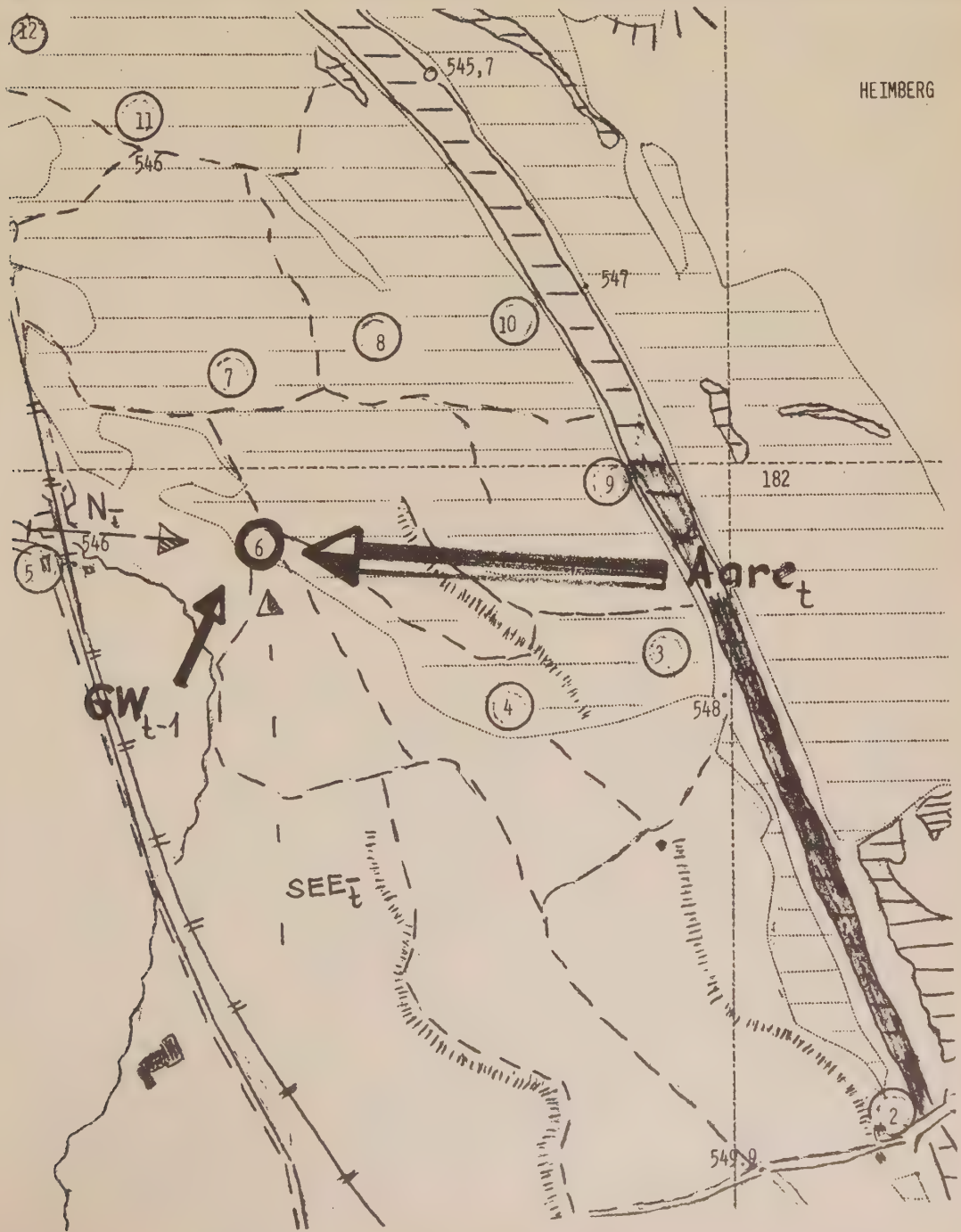
Das Grundwasser benötigt ~ 4 Tage von der Aare zu BR 6. Distanz Aare-BR 6 ~ 57o m ---> $\frac{57o}{4od6}$ = 14o = 95 m/d.
Die Beeinflussung durch die Aare wird in zwei Phasen wirksam: 1.) durch den aktuellen Wert und 2.) durch eine "Welle", deren Geschwindigkeit ~ 1oo m/d beträgt.



<> BR 6 = f(vorhergehendes BR 6_{-1}; Aare akt.gem.; See $\bar{6}^{\bar{d}}$; Niederschlag $\bar{6}^{\bar{d}}$;);

Reihenfolge der Bedeutung:	1.	Aare	2365	>	6,76 ** (F-Werte)	signifikant ≠ 0;
	2.	BR 6_{-1}	6,25	>	4,71	signifikant ≠ 0;
	3.	N $\bar{6}^{\bar{d}}$	o,o3	<	3,88	zufällig ≠ 0;
	4.	S $\bar{6}^{\bar{d}}$	o,o4	<	3,41	zufällig ≠ 0;

Es zeigt sich auch hier, dass der Vorflutereinfluss absolut dominant ist. In leichter Abweichung zu dem Resultat auf Seite 176 ist hier die Mitberücksichtigung des zeitlich vorhergehenden Grundwasserstandes knapp gesichert; m.E. kann nicht die Forderung erhoben werden, dass durch den Einbezug des vorhergehenden Grundwasserstandes wesentlich neue Aussagen über das Grundwassergeschehen gemacht werden könnte. Aus diesen und ähnlichen Detailstudien, habe ich von Korrelationen - die die Zeitreihen einbeziehen würde - abgesehen.

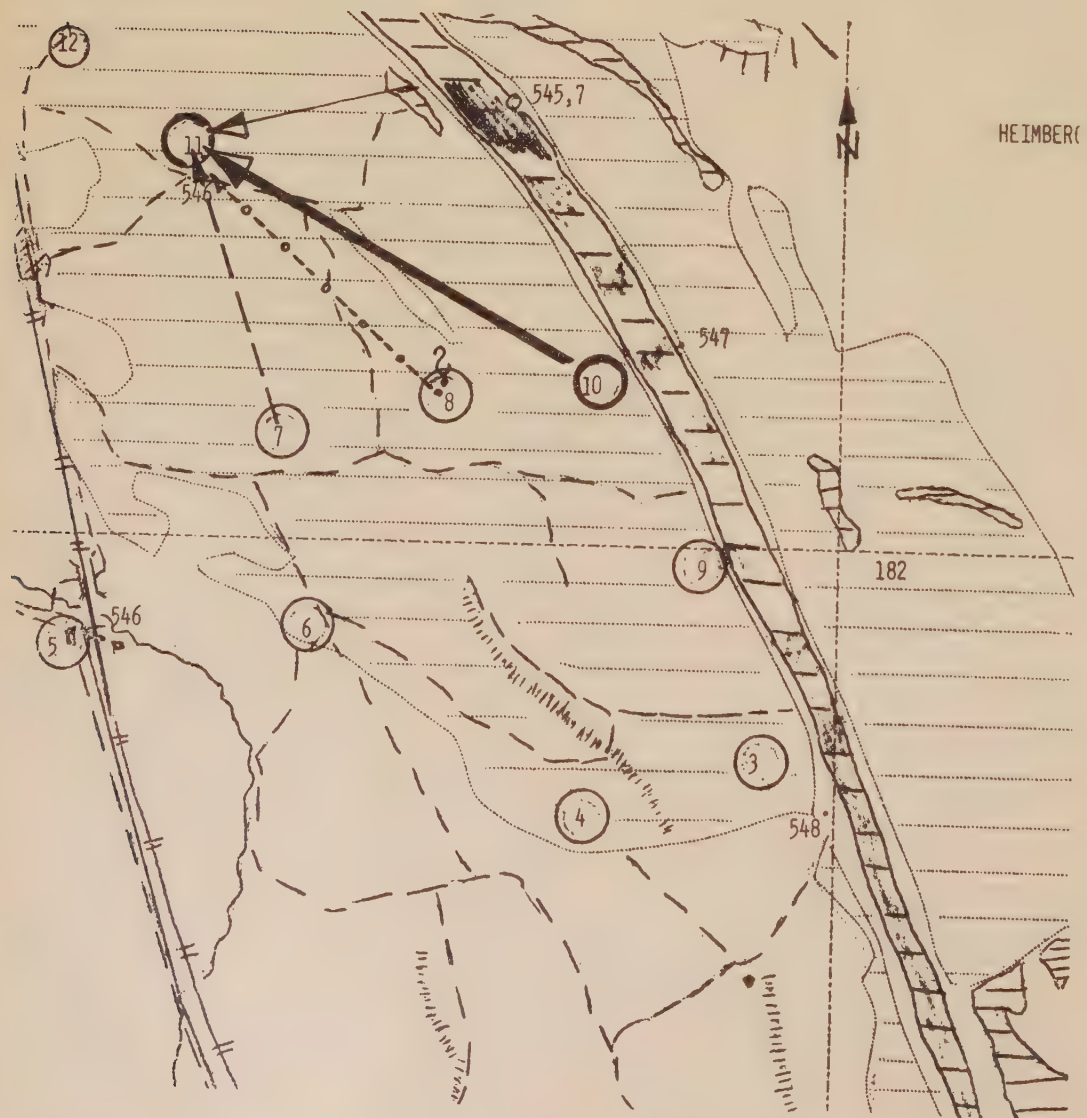


<> BR 11 = F(AARE akt.gem.; BR 7; BR 8; BR 1o)

Reihenfolge d. Bedeutung	Merkmal	gerechneter F-Wert		Sicherheits-schwelle F**	Korrelations-koeffizient r_j	Beurteilung
1.	BR 1o	2906	>	6,76	o,97	signifikant ≠ 0
2.	AARE	253	>	4,71	o,85	signifikant ≠ 0
3.	BR 7	1o,25	>	3,88	o,68	
4.	BR 8	198	>	3,41	- o,68 ! ind.prop.!	

Wir sehen, dass die aareseitige Beeinflussung nach wie vor gross ist, doch zeigt in überzeugender Weise $r_{BR\ 1o}$ und $B_{BR\ 1o}$ = o,92 (linear), dass der Grundwassereinfluss parallel zur Aare dominiert. Dies gibt uns einen Hinweis dafür, dass

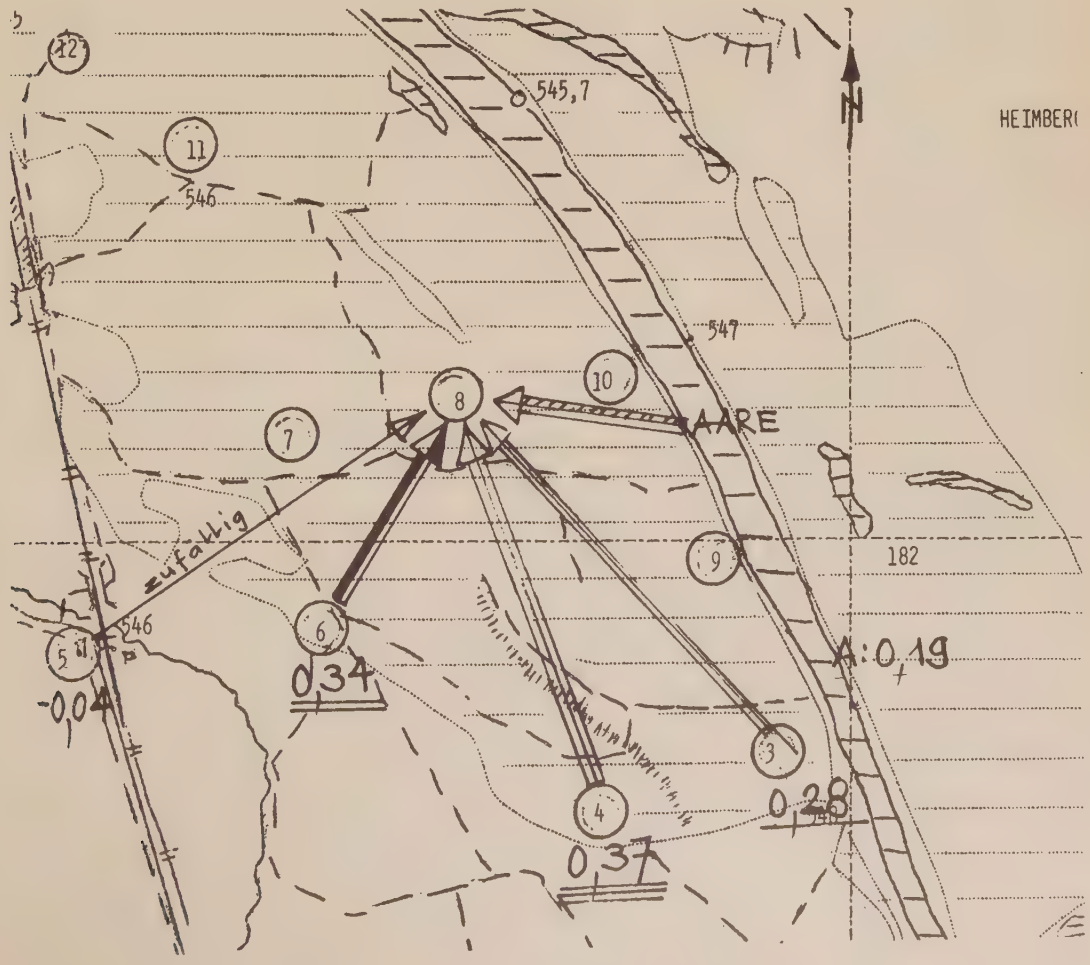
- Grundwasserströmung ~ parallel zum Vorfluter verläuft
- der Anteil des Vorfluters (s.Seite 167) nicht etwa 89,7 % beträgt, sondern nur einen Teil davon.



<> BR 8 f(AARE, BR 3; BR4; BR 5; BR 6)

Reihenfolge	Merkmal	gerechneter F-Wert		Sicherheits= punkt F**	partieller Korr.koeff.	Beurteilung
1.	BR 6	5262	>	6,76	o,34	sign.
2.	AARE	76,7	>	4,71	o,19	sign.
3.	BR 4	2o,6	>	3,88	o,37	sign.
4.	BR 3	19,9	>	3,41	o,28	sign.
5.	BR 5	o,o4	<	3,11	-o,o4	zufällig

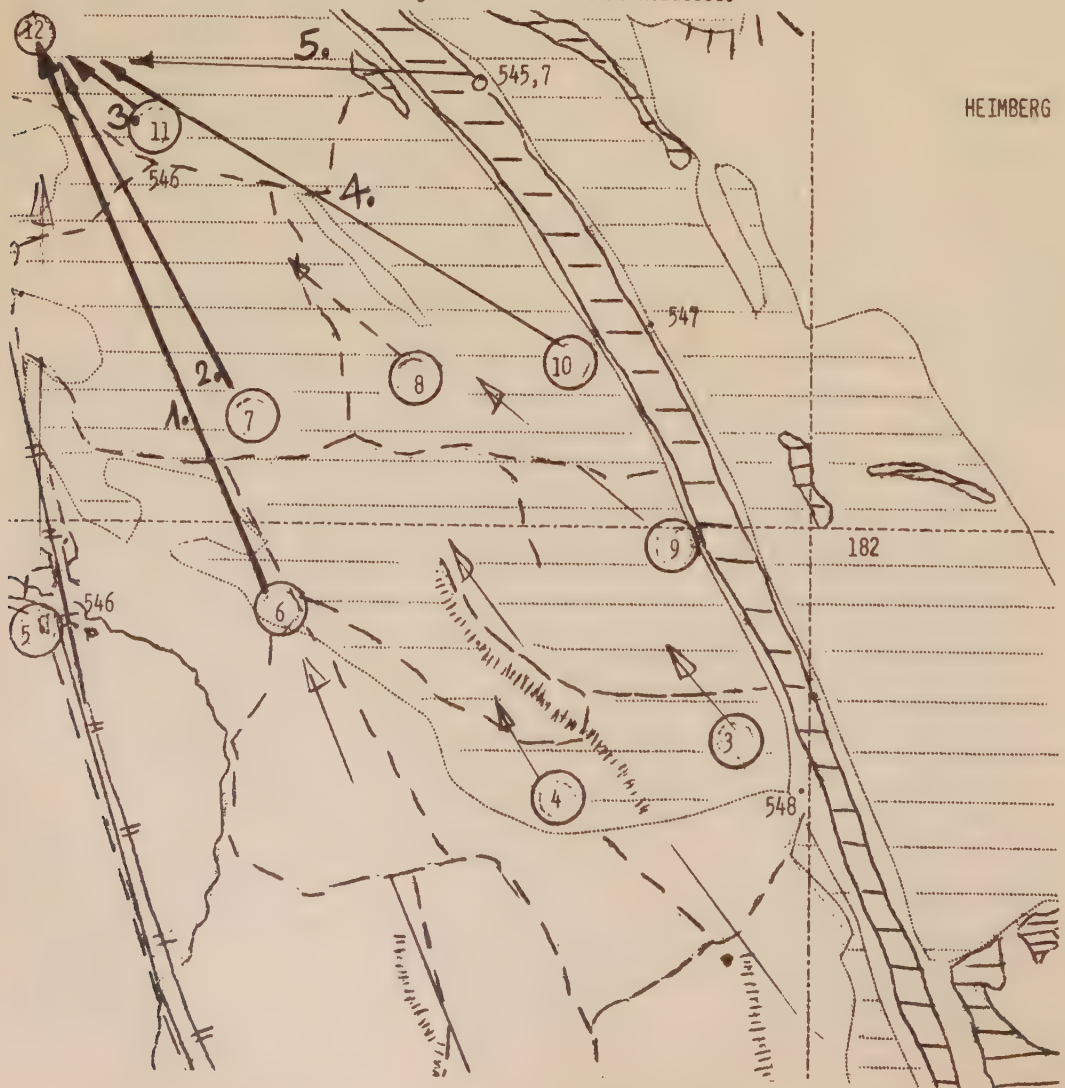
BR 6 übt maximalen Einfluss auf BR 8 aus, d.h. dass wir hier wiederum eine Bestätigung für die These haben, dass das Grundwasser nicht allein (oder in erster Linie) durch Aareinfiltration gespiesen wird. Die überraschende Dominanz von BR 6 auf BR 8, und nicht BR 4 oder BR 3 wie man vermuten würde, kommt natürlich auch in den Karten der Grundwasserisohypsen auf Seiten 174 und 175 schön zum Ausdruck. - Da der Zusammenhang von BR 8 und x_j auch indirekter Natur sein kann, indem jedes Merkmal von der Restmenge der Merkmale abhängt und sich mit dieser ändert, kann man versuchen, den Zusammenhang zwischen den beiden gesuchten Grössen (BR 8; x_j) bei konstanter Grösse der Restmenge zu bestimmen; man spricht dann von bedingter oder partieller Korrelation. Aus der Menge der partiellen Korrelationskoeffizienten lesen wir, dass wenn der Einfluss der andern Variabeln ausgeschalten wird, sich ein zur Aare paralleler Einfluss geltend macht.



◇ BR 12 = f(Aare; BR1; BR 2; BR 3; BR 4; BR 5; BR 6; BR 7; BR 8; BR 9; BR 1o; BR 11)

Reihenfolge	Merkmal	F-Wert		F**-Wert	r_{ij} part.	Beurteilung
1.	BR 6	1o48	>	6,76	o,o17	sign.
2.	BR 7	11,7	>	4,71	o,o13	sign.
3.	BR 11	16,1	>	3,88	o,28	sign.
4.	BR 1o	9,44	>	3,41	-o,o3	sign.
5.	A	o,7	<	3,11	-o,o31	zuf.
6.	BR 8	o,3	<	2,89	-o,o37	zuf.
7.	BR 1	o,3	<	2,73	-o,o4	zuf.
8.	BR 9	o,2	<	2,6	-o,o2	zuf.
9.	BR 2	o,6	<	2,5	-o,o2	zuf.
1o.	BR 5	o,o3	<	2,41	-o,o2	zuf.
11.	BR 3	o,o3	<	2,4	o,o12	zuf.
12.	BR 4	o,oo1	<	2,4	o,oo2	zuf.

Bei BR 12 zeigt sich ein deutliches überwiegen des Grundwassereinflusses.



7. ZUSAMMENFASSUNG DES ZWEITEN TEILS

Nördlich von Thun bildete sich im Laute der Zeit durch Gletscherrückgänge, See- und Fluss=ablagerungen (Zulg, Aare, K a n d e r) eine 28 km^2 grosse, im Aufriss trichtertörmige Schotterebene, die heute für die Agglomeration Bern ein wertvolles Grundwasservorkommen beinhaltet. Unmittelbar unterhalb des Thungschneitriegels wurde in den tünfziger Jahren das Aaretalwerk I für die Stadt Bern erstellt. Der steigende Wasserbedart zwang die Verantwortlichen, einen neuen Trinkwasserspender zu suchen, den man im Gebiet "Auwald" bei Uttigen-Uetendort südlich des Thungschneitriegels tand. In diesem Gebiet soll in den achtziger Jahren das Aaretalwerk II gebaut werden. Da im Jahre 1964 hier noch wenige Kenntnisse über das Herkommen des Grundwassers vorhanden waren, lag es nahe (umso mehr, als der Schreibende aus der neueren Geschichte der Trinkwasserversorgung der Stadt Bern die Bedeutung dieses Grundwasserträgers ahnte), in diesem Gebiet eine Studie durch tundierte, aequitemporare Dreitagesmessungen abzutassen.

Für die Speisung des Grundwassers wurden die drei Faktoren {Aare, See, Niederschlag) als haupt=verantwortlich erklärt. Die F r a g e , w e l c h e n A n t e i l j e d e r e i n z e l n e F a k t o r a m G r u n d w a s s e r g e s c h e h e n h a b e , wurde mit Hilte statistischer Analysen des Zahlenmaterials beantwortet. D a s ü b e r r a s c h e n d e E r g e b n i s w a r , d a s s e i n e e i n f a c h e l i n e a r e R e g r e s s i o n z w i s c h e n A a r e u n d G r u n d w a s s e r s e h r s i n n v o l l i s t . D i e M i t b e r ü c k s i c h t i g u n g d e r V a r i a b e l n {S e e , N i e d e r s c h l a g} v e r b e s s e r t e d i e A u s = s a g e n a b s o l u t g e r i n g f ü g i g .

Die Anwendung der Regressions- und Korrelationsrechnung mit Varianzanalysen aut Probleme des Grundwassers hat die Vermutungen der Wasseringenieure bestätigt und gezeigt, dass sich qualitative Resultate erzielen lassen. Doch ist der Z e i t a u f w a n d für die manuellen Messungen, die Graphiken, den Mittelbildungen mit Tischrechnern, das Lochen der Daten aut Karten, das Auswerten usw. viel zu zeitraubend, als dass der Praktiker sich das leisten könnte. Es wäre m.E. kein Luxus - für das lebenswichtige Problem der Trinkwassersuche - ein praktisch h y d r o l o g i s c h e s I n s t i t u t zu schaften, das über schreibende Messgerate in genügender Anzahl verfügt; die Auswertung der automatisch-mechanisch gewonnenen Graphen könnte dann über einen multiplen Koordinatenschreiber und über eine Rechenanlage erfolgen. - Im Rückblick finde ich es für ein gutsituiertes Land wie die Schweiz beschämend, mit welchen einfachen, ja primitiven Mitel die Verantwortlichen für die Trinkwasserversorgung und die hydrologische Forschung arbeiten müssen. Diese harten Worte werden wir aber nicht heute, wohl aber in dreissig Jahren einsehen. Ich hoffe, dass es in jener Zeit nicht zu spät ist und mochte mit den Worten schliessen:

"Alles ist aus dem Wasser entsprungen,
Alles wird durch das Wasser erhalten"
Goethe

LITERATUR ZUM ERSTEN TEIL

Im Text sind die Literaturhinweise am linken Rande der Seiten durch zwei Zahlen angegeben: die erste Zahl {links vom Punkt} bedeutet das Buch und die zweite Zahl {rechts vom Punkt} die entsprechende Seite.

Buch- nummer	Verfasser Titel Ort oder Zeitschrift	Jahr
α)	Bücher	
1	Berger G. ≪ Die Wasserversorgungsangelegenheit der Stadt Bern ≫ Bern	1867
2	Brix J. und Heyd H. ≪ Die Wasserversorgung ≫ München	1952
3	Morgenthaler Hans ≪ Die ältere Trinkwasserversorgung der Stadt Bern ≫ Bern	1951
4	Pagenstecher und Müller ≪ Ueber die Brunnen und Quellen Berns und seiner nähern Umgebung ≫ Bern	1844
5	Rutsch R. ≪ Beiträge zur Geologie der Umgebung von Bern ≫ Bern	1933; Mai
6	Wey Franz ≪ Die Trinkwasserversorgung der Stadt Bern, ein geschichtlicher Rückblick ≫ Bern	1907
7	≪ Statistischer Atlas der Stadt Bern ≫ Bern	1940
8	≪ Taschenbuch für Gas- und Wasserfach ≫ III. Teil München	1963

β) Artikel in Fachzeitschriften

SVGW Schweizerischer Verein von Gas- und Wasserfachmänner

DVGW Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmänner

9 Gubelmann Hermann
≪Horizontalfilterbrunnen in der Schweiz≫ 1.Teil
Fachblatt für Gastechnik und Gaswirtschaft, sowie für Wasser und Abwasser
DVGW Nr. 38 1961

1o Gubelmann H.
≪Horizontalfilterfassungen in der Schweiz≫ 2. Teil
DVGW Nr. 46 1961

11 Berger Karl
≪Betrieb der Ozonanlage Könizberg der Wasserversorgung Bern≫
DVGW Nr. 48 1964

12 Gubelmann H.
≪Die neue Grundwasserfassungsanlage der Wasserversorgung Bern≫
SVGW Nr. 4, 5, 6 193o

13 Gubelmann H.
≪Die Vorarbeiten der Wasserversorgung Bern für ein Grundwasserwerk im Aaretal≫ und
≪Spezielle Probleme der Grundwasserfassung und - fernleitung≫
SVGW 1944

14 Gubelmann H.
≪Horizontale Filterbrunnen≫
SVGW Nr. 12 1948

15 Gubelmann H.
≪Grundwasser≫
SVGW Nr. 6 1951

16 Gubelmann H.
≪Technik der Sterilisation des Trinkwassers≫
SVGW Nr. 11 1951

17 Gubelmann H. und Scheller H.
≪Die Filter- und Ozonanlage der Wasserversorgung der Stadt Bern≫
SVGW Nr.12 1955
SVGW Nr. 4 1956

18 Hug J.
≪Die Grundwasservorkommnisse der Schweiz≫
Annalen der Schweizerischen Landeshydrologie 1918

19 Künzi W. und Gubelmann H.
≪Erfahrungen mit der Chlordesinfektion in der städtischen Trinkwasserversorgung≫
Zeitschrift für Desinfektion und Gesundheitswesen Nr. 6 und 7 ; 1927

2o Künzi W. und Gubelmann H.
≪Ergebnisse der Chlorbehandlung des Trinkwassers der Stadt Bern≫
SVGW Nr. 2 1934

21 Teutsch A.
≪Das Grundwasserwerk im Aaretal≫
SVGW Nr. 1 1951

γ) Gutachten an die Wasserversorgung der Stadt Bern

22 Beck
≪Der Boden des Aaretals als Grundwasserspeicher≫
194o - 195o ?

23 Beck
≪Vorläufoger Bericht über die Grundwasserverhältnisse der Region Uttigen-Kiesen≫
1947

24 Hug J
≪Geologisches Gutachten≫ über die Wasserfassung Münsingen-Belp
1916

25 Hug J
≪Vorläufiges geologisches Gutachten über die Grundwasserverhältnisse im Aaretal Thun-Münsingen≫ 1917

26 Hug J
≪Geologisch-hydrologisches Gutachten betr. Grundwasserfassung im Aaretal bei Uttigen-Kiesen≫ 1927

δ) Berichte, Anträge, Botschaften, Protokolle chronologisch geordnet

27 ≪Botschaften des Stadtrates an die Gemeinde≫ für die Gemeindeabstimmung vom 16./17. Mai und 12./13. Dezember 19o3; im besondern:
≪Erweiterung der städtischen Wasserversorgung≫ vom 16. Oktober 19o3, dies gedruckt.

28 dasselbe wie 27, jedoch in Originalschrift

29 ≪Berichte und Mitteilungen an den Stadtrat≫
Bern 19o3

30 ≪Bericht und Antrag der Direktion der Gas- und Wasserversorgung an die städtische Präsidialabteilung≫ 1911, 25. November

31 ≪Bericht und Antrag der Direktion der Gas- und Wasserversorgung an die städtische Präsidialabteilung≫ 1912, 16. April

32 ≪Bericht und Antrag der Direktion der Gas- und Wasserversorgung an die städtische Präsidialabteilung≫ 1912, 14. Oktober

33 ≪Wasserfassung Ramsei≫ technischer Bericht 192o, 24. Januar

34 ≪Erweiterung der Wasserversorgung≫ Bericht an die Direktion der industr.Betriebe 192o, 23. September

35 Arbenz, Freiburghaus, Peter
≪Expertenbericht z.H. der Baudirektion des Kantons Bern betr. der Wasserableitung aus dem Emmental durch die Stadt Bern≫
1925, Mai

26 Peter, Arbenz, Freiburghaus
≪Bericht an die Baudirektion des Kantons Bern über die Einrede gegen den Experten=bericht vom 25. Mai 1925 betr. Wasserableitung aus dem Emmental nach Bern≫
1925, 8. September

37 ≪Protokoll der Sitzung des Regierungsrates≫
1926, 23. April

38 ≪Vortrag des Gemeinderates an den Stadrat betr. Erweiterung der städtischen Wasserversorgung im Emmental≫ 1926, 4. August

39 ≪Bericht über den Ausbau der städtischen Wasserversorgung≫
1931, 17. März

4o ≪Filteranlage Könizberg≫ Projekt 1937

41 ≪Vortrag des Gemeinderates an den Stadtrat≫
1946, 13. Mai

42 ≪Kreditbegehren für den Ausbau des Hauptpumpwerkes Schönau der städtischen Wasserversorgung≫ 1963, 8. Januar

∈) B r i e f e

43 Brief der ≪Genossenschaft der Radwerk- und Brunnenbesitzer an der Emme≫
1925, 25. Juli

44 Schmid
≪Technische Bemerkungen≫
Burgdorf 1925, 3o. Juli

45 ≪Brief an die Baudirektion des Kantons Bern≫ namens der Genossenschaft der Radwerk- und Brunnenbesitzer an der Emme 1925, 3o. Juli

46 ≪Schreiben der städtischen Wasserversorgung Bern an die vereinigten Wasserwerkbesitzer an der Emme≫ ?

ζ) K a r t e n

47 Jenny, Baltzer und Kissling
≪Geologische Excursionskarte der Umgebung von Bern≫
1 : 25 ooo 1885 - 89

48 Nussbaum F.
Exkursionkarte der Umgebung der Stadt Bern
1 : 75 000

49 Plan Uttigen-Kiesen WVSB
1 : 5 ooo 1937, 12. August

5o Plan der Beobachtungsrohre mit Bohrlöcher bei Uttigen-Kiesen
1 : 5 ooo 1944, 7. September

η) I m W e i t e r n

1895 b i s
1965 bedeuten die 6 o B ü c h e r der
≪Verwaltungsberichte der Stadt Bern≫ aus dem Stadtarchiv Bern

51 Hofer Paul
≪Ueber drei neuentdeckte Sodbrunnen in der Berner Altstadt≫
Jahrbuch des Bernischen Historischen Museums in Bern
Nr. XXXIX und XL 1959 und 196o

LITERATUR ZUM ZWEITEN TEIL

261 Beck P. und Rutsch R.F.
≪Geologischer Atlas der Schweiz≫ Atlasblatt 21 mit Erläuterungen
1 : 25 000 1958

2o2 R. V. Blau
≪Molasse und Flysch im östlichen Gurnigelgebiet≫
Diss. Bern 1966

2o3 P. Beck
≪Grundwasserverhältnisse des Aaretals≫ Gutachten an die Wasserversorgung
der Stadt Bern 1947

2o4 Geiser Manuskript
≪Grundwasseruntersuchungen für das Aaretalwerk II der stadt Bern≫
Zeitschrift: „Gas, Wasser, Abwasser" 1969, März Nr. 2 Zürich
{Seitenzahlen aus dem Manuskript}

--- Athen H.
≪Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik≫ {einführendes Lehrbuch}
Schroedel-Schöningh 2. Auflage, 1968

--- Behnke-Bertram-Sauer
≪Grundzüge der Mathematik Band IV≫ {übersichtlich, mathematisch}
Vandenhoeck-Ruprecht 1968 Göttingen

--- Kreyszig E.
≪Statistische Methoden und ihre Anwendungen≫ {übersichtlich, praktisch}
Vandenhoeck-Ruprecht 1968 Göttingen, 3. Auflage

--- Linder A.
≪Statistische Methoden für Naturwissenschaftler≫ {praktisch, fundiert}
Birkhäuser 196o Basel, 3. Auflage

--- Draper N.R. - Smith H.
≪Applied Regression Analysis≫ {Darstellung in Matrizen}
John Wiley 1968 New York, 2. Auflage

--- Heinhold Jos. und Gaede K.W.
≪Ingenieur Statistik≫ {mathematisch}
Oldenbourg 1968 München

--- Schmetterer L.
≪Mathematische Statistik≫ {theoretisch-mathematisch}
Springer 1966 Wien, 2. Auflage

--- Wegmüller, Professor für mathematische Statistik an der Universität Bern
Vorlesungen über Regression und Korrelation im Wintersemester 1965/66

Lebenslauf

Hans-Ulrich Stauffer-Kaiser von Homberg BE wurde am 19. März 1936 in Bern geboren. Er besuchte das Staatliche Lehrerseminar Hofwil-Bern von 1952 bis 1956. Im April 1956 erhielt er das Lehrpatent für bernische Primarschulen und betreute für zwei Jahre definitiv eine Lehrstelle an der Primarschule Thun-Strättligen.

1958 begann er sein Studium am Sekundarlehramt der Universität Bern in den Fächern Mathematik, Physik, Geographie und Zoologie. Vom Herbst 1958 an unterrichtete er sieben Jahre Mathematik am Abendtechnikum Bern. Im Frühjahr 1960, nach Abschluss des Sekundarlehrerstudiums, folgte er seiner Wahl an die Sekundarschule Interlaken für zwei Jahre. - Er hatte bis dahin Vorlesungen besucht in Mathematik {Michel, Scherrer, Hadwiger}, in Physik {Houtermans}, in Geographie {Gygax, Grosjean, Messerli} und in Zoologie {Lehmann, Lüscher, Rosin, Meyer-Holzapfel}.

1962 bis 1966 absolvierte er das Studium für das Höhere Lehramt an der Universität Bern und teilweise an der Universität Zürich in den Fächern Geographie insbesondere Geophysik {Gygax, Nydegger}, in Mathematik {Scherrer, Hadwiger, Nef, H.H. Keller (Zürich), van der Waerden (Zürich), Debrunner}, in Astronomie {Schürer} und in Pädagogik {Schmid, L. Weber (Zürich), Steiger}. Zusätzlich besuchte er Vorlesungen in mathematischer Statistik {Wegmüller} und Physik {Mercier}.

1964 begann er unter Anleitung von Herrn Prof. Dr. F. Gygax mit den Vorarbeiten und den Messungen zu der vorliegenden Dissertation, die im Juni 1970 der Fakultät vorgelegt wurde.

Seit dem Frühjahr 1966 unterrichtet H.U. Stauffer als Hauptlehrer für Mathematik am Staatlichen Lehrerseminar Langenthal.